# NOVA ACTA

ACADEMIAE CAESAREAE LEOPOLDINO-CAROLINAE GERMANICAE
NATURAE CURIOSORUM.

TOMUS LXXXIV.

CUM TABULIS XXII.

---

# Abhandlungen

der

## Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher.

**84. Band.**

Mit 22 Tafeln.

---

**Halle, 1905.**

Buchdruckerei von Ehrhardt Karras in Halle a. S.

Für die Akademie in Commission bei W. Engelmann in Leipzig.

NOV
5504
.6

HARVARD UNIVERSITY.

LIBRARY

OF THE

MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY.

6254.

Exchange

March 26, 1906.

Nova Acta Band 73 befindet
sich noch im Druck.

# NOVA ACTA

ACADEMIAE CAESAREAE LEOPOLDINO-CAROLINAE GERMANICAE
NATURAE CURIOSORUM.

TOMUS LXXXIV.

CUM TABULIS XXII.

# Abhandlungen

der

## Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher.

**84. Band.**

Mit 22 Tafeln.

**Halle, 1905.**
Buchdruckerei von Ehrhardt Karras in Halle a. S.

Für die Akademie in Commission bei W. Engelmann in Leipzig.

Seiner Majestät

# Wilhelm II.

Deutschem Kaiser und Könige von Preussen

ihrem hohen Schirmherrn

dem erhabenen Gönner und Beförderer aller wissenschaftlichen Arbeit
des deutschen Volkes

widmet die

Kaiserliche Leopoldinisch-Carolinische Deutsche Akademie
der Naturforscher

diesen vierundachtzigsten Band ihrer Abhandlungen

durch den Vorsitzenden

Dr. **Karl von Fritsch.**

# Inhalt des LXXXIV. Bandes.


I. **Karl W. Verhoeff:** Über vergleichende Morphologie des Kopfes niederer Insekten mit besonderer Berücksichtigung der Dermapteren und Thysanuren, nebst biologisch-physiologischen Beiträgen . . . . . S. 1—144. Taf. I—VIII.

II. **Gerschon Seliber:** Variationen von Jussieua repens mit besonderer Berücksichtigung des bei der Wasserform vorkommenden Aerenchyms . . . . . S. 145—200. Taf. IX—XII.

III. **Georg W. A. Kahlbaum** und **Siegfr. Räber:** Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls und das Gesetz ihrer Abhängigkeit von der Temperatur . . . . . S. 201—308. Taf. XIII—XVIII.

IV. **Ernst Hübner:** Wetterlagen und Vogelzug. Die Rotkelchen-Wanderungen an der deutschen Ostseeküste und über den europäischen Kontinent . . . . . S. 309—410. Taf. XIX—XXII.

# Vorstand der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher.

Gegründet am 1. Januar 1652. Deutsche Reichsakademie seit dem 7. August 1687.

## Präsidium.

**K.** Freiherr **von Fritsch** in Halle a. S., Präsident. | **A. Wangerin** in Halle a. S., Stellvertreter.

## Adjunkten.

I. Kreis: **J. Hann** in Wien;
**E. Mach** in Wien;
**G. Stache** in Wien.
II. Kreis: **E. Wiedemann** in Erlangen;
**R. Hertwig** in München.
III. Kreis: **K. B. Klunzinger** in Stuttgart.
IV. Kreis: **A. Weismann** in Freiburg.
V. Kreis: **G. A. Schwalbe** in Strassburg.
VI. Kreis: **R. Lepsius** in Darmstadt.
VII. Kreis: **E. Strasburger** in Bonn.
VIII. Kreis: **M. H. Bauer** in Marburg.
IX. Kreis: **E. H. Ehlers** in Göttingen.
X. Kreis: **K. Brandt** in Kiel.
XI. Kreis: **A. Wangerin** in Halle.
XII. Kreis: **E. Haeckel** in Jena.
XIII. Kreis: **C. Chun** in Leipzig;
**F. Zirkel** in Leipzig.
XIV. Kreis: **A. Ladenburg** in Breslau.
XV. Kreis: **C. A. Jentzsch** in Berlin.

## Sektionsvorstände und deren Obmänner.

### I. Mathematik und Astronomie:

**J. Lüroth** in Freiburg, Obmann;
**R. Helmert** in Potsdam;
**G. Cantor** in Halle.

### II. Physik und Meteorologie:

**G. B. von Neumayer** in Neustadt a. H., Obmann;
**E. Riecke** in Göttingen;
**E. Mach** in Wien.

### III. Chemie:

**O. Wallach** in Göttingen, Obmann;
**H. Landoldt** in Berlin;
**J. Volhard** in Halle.

### IV. Mineralogie und Geologie:

**K.** Freiherr **von Fritsch** in Halle, Obmann;
**F. Zirkel** in Leipzig;
**H. Credner** in Leipzig.

### V. Botanik:

**H. G. A. Engler** in Berlin, Obmann;
**S. Schwendener** in Berlin;
**F. Buchenau** in Bremen.

### VI. Zoologie und Anatomie:

**A. von Kölliker** in Würzburg, Obmann;
**F. E. Schulze** in Berlin;
**E. H. Ehlers** in Göttingen.

### VII. Physiologie:

**C. von Voit** in München, Obmann;
**S. Exner** in Wien;
**W. Engelmann** in Berlin.

### VIII. Anthropologie, Ethnologie und Geographie:

**O. C. O. Förtsch** in Halle, Obmann;
**C. G. Gerland** in Strafsburg.

### IX. Wissenschaftliche Medicin:

**E. von Leyden** in Berlin, Obmann;
**W. O. von Leube** in Wien;
**H. Waldeyer** in Berlin.

NOVA ACTA.

**Abh. der Kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher**

Band LXXXIV. Nr. 1.

# Über vergleichende Morphologie des Kopfes niederer Insekten

mit besonderer Berücksichtigung

## der Dermapteren und Thysanuren,

nebst biologisch-physiologischen Beiträgen.

Von

**Dr. Karl W. Verhoeff.**

Aus dem Berliner zoologischen Museum (Museum für Naturkunde).

Mit 8 Tafeln. Nr. I—VIII.

Eingegangen bei der Akademie am 22. April 1904.

**HALLE.**

1904.

Druck von Ehrhardt Karras, Halle a. S.

Für die Akademie in Commission bei Wilh. Engelmann in Leipzig.

Wenn wir im vorwärtsdrängenden Forschen die reine Freude des Naturgenusses empfinden, brauchen wir es nie zu beklagen, dass alles Wissen Stückwerk ist.

# Inhalt.


Vorbemerkungen . . . . . 5
A. Der Dermapteren-Kopf . . . . . 7
1. Die Kopfkapsel . . . . . 7
2. Das Tentorium . . . . . 15
3. Die Antennen . . . . . 16
4. Die Mandibeln . . . . . 22
5. Die Maxillopoden[1]) . . . . . 23
6. Die Labiopoden . . . . . 33
7. Maxillopoden und Labiopoden von *Hemimerus* . . . . . 39
8. Kehlteile und Hinterhauptverbindung (Mentum, Submentum und Mikrothorax) . 41
9. Der Hypopharynx . . . . . 50
10. Der Epipharynx . . . . . 55
11. Der präorale Kopf . . . . . 60
12. Holodermaptera und Dermodermaptera . . . . . 69
13. Frühere Beobachtungen über den Dermapteren-Kopf. (Ocellenlage bei anderen Hexapoden) . . . . . 72
B. Der Machiliden-Kopf . . . . . 78
1. Die Kopfkapsel . . . . . 79
2. Die Kehlteile . . . . . 84
3. Das Tentorium (genuinum) . . . . . 85
4. Die Antennen und antennalen Tentorien . . . . . 88
5. Die Maxillopoden . . . . . 91
6. Das Maxillopodensegment . . . . . 95
7. Die Labiopoden . . . . . 96
8. Der Hypopharynx . . . . . 99
9. Die Mandibeln . . . . . 102
10. Der Epipharynx und das Labrum . . . . . 105
11. Der präorale Kopf . . . . . 108
12. Ordo Microcoryphia . . . . . 109
13. Frühere Beobachtungen über den Kopf von Machilis und anderen Hexapoden 110
14. Rückblick . . . . . 116
15. Schlussanmerkungen . . . . . 121


[1]) Enthält auch Mitteilungen über den Tarsus der *Chilopoden.*

# Vorbemerkungen.

„Von dem Aufgange des 19. Jahrhunderts an bis hinein in unsere Tage haben die Mundteile der Insekten in der Anatomie und Systematik eine gleich bedeutende Rolle gespielt. In jüngerer Zeit konnten dann Biologie, Phylogenie und Physiologie mit vielem Grunde sich für dieselben interessieren. Auch in Zukunft werden die Mundteile nicht aufhören in allen Gebieten der Insektenkunde von hohem Belang zu sein.“ 1893 schrieb ich diese Zeilen als Einleitung zu meiner Dissertation über die Abdominalsegmente weiblicher Rhynchoten (Bonn, Verh. nat. Ver. f. Rheinl. u. Westf.), in der Annahme, dass *die beissenden Mundteile* der Insekten, welche für die abgeleiteteren stechenden, leckenden und saugenden die Grundlage und damit den Schlüssel des Verständnisses bilden, in den wichtigeren Grundzügen wenigstens, bereits genügend bekannt seien. Ähnliches wurde von verschiedenen Naturforschern in den letzten Jahren auch von den Mundteilen der *Chilopoden* angenommen, und doch konnte ich kürzlich zeigen, dass diese Annahme nicht ganz zutreffend war, dass vielmehr noch verschiedene wesentliche Punkte weiterer Klarstellung bedurften.[1])

Für die Insekten kann ich jetzt dasselbe betonen, nachdem mir im verflossenen Dezennium schon zu wiederholten Malen starke Zweifel aufgestiegen waren, ob die bisherige Basis unserer Kenntnisse der elementaren Insektenmundteile wohl eine genügend gründliche sei. Dass die *Grundlage* unserer bisherigen Anschauung über den *Thorax* der Insekten wesentlicher Ergänzung bedürfe, versuchte ich in anderen Arbeiten zu zeigen. (Halle

[1]) Archiv f. Naturgesch. Berlin 1904.

Nova Acta 1902 und 1904, Archiv f. Nat. Berlin 1903.) Im folgenden will ich auseinanderzusetzen suchen, dass es mit dem Insektenkopfe ähnlich steht, aber schon jetzt betonen, dass es vor allem nach folgenden Richtungen, das bereits Bekannte zu vervollständigen gilt:

1. Verbindung und Lagebeziehung der einzelnen Elemente der Mundteile sowohl als auch der Kopfkapselteile untereinander,
2. Klarlegung der Muskulatur der Mundteile,
3. Vergleichend-morphologische Erklärung der Glieder der beiden Maxillenpaare,
4. Feststellung der Sternite der drei Kiefersegmente,
5. Klarstellung der Verbindung zwischen Hinterkopf und Rumpf,
6. der in der Nachbarschaft des Mundes gelegenen Schlund- und Gaumenteile,
7. Untersuchung der Beziehungen zwischen den Gliedmassen des Kopfes einerseits und basalen Muskeln und inneren Stützgebilden des Kopfes andererseits.[1])

[1]) Ausdrücklich betonen will ich noch, dass eine Untersuchung des Gehirns und seiner Nerven nicht Gegenstand dieser Arbeit ist, womit ich aber keinenfalls verkenne, dass auch nach dieser Richtung hin noch manches zu tun übrig bleibt. Bisher sind bei vergleich.-morphologischen Untersuchungen des Insektenkopfes aber gerade die Nerven so sehr betont worden, dass es bei der Behandlung der Kopfgliederung und des Baues der Mundteile an der Zeit ist, auch die Bedeutung der Muskulatur für das Verständnis des Hexapoden-Kopfes zu betonen, welche nicht geringer ist als die des Gehirns.

## A) Der Dermapteren-Kopf.

Die *Dermapteren* sind unter den lebenden Insektengruppen unstreitig eine der am niedrigsten stehenden, d. h am ursprünglichsten organisierten Pterygoten-Gruppen, welche in einigen Organisationsverhältnissen sogar noch primitivere Verhältnisse zeigen als die bekannten *Thysanuren*. Eine vergleichende Untersuchung der beissenden Mundteile der Insekten hat daher die *Dermapteren* als eine der in dieser Hinsicht wichtigsten Insekten-Gruppen eingehend zu berücksichtigen. Wir betrachten

### 1. Die Kopfkapsel.

Ein höchst wichtiger Unterschied zwischen den Köpfen der meisten Insekten und denen einiger niedrigen Gruppen sei hier gleich hervorgehoben durch die Worte

*Postcranium apertum* und
*Postcranium clausum* also

*offenes und geschlossenes Hinterhaupt.*

Die Pterygoten werden hierdurch in zwei grosse, phylogenetische Stufen darstellende Teile gebracht, deren Bedeutung nicht genug betont werden kann:

Bei den *Holometabola*, aber auch zahlreichen *Hemimetabola*, z. B. *Rhynchoten*, sehen wir die Hinterhauptöffnung nicht nur oben und seitwärts, sondern auch unten von einem festen Anteil der Kopfkapsel umgeben, sodass also die Hinterhauptöffnung hinten vollständig in der Kapsel liegt oder ganz von Teilen derselben umgeben wird. *Die Mundteile-Öffnung ist also durch einen ventralen Schädelkapselteil vollkommen von der Hinterhauptöffnung getrennt und die Schädelkapsel selbst bildet einen unregelmässigen Zylinder.*

Bei den anderen, *niederen Insekten,* also *Thysanuren, Dermapteren, Blattodeen, Mantodeen,* echten *Orthopteren* u. a. *bildet dagegen die Kopfkapsel keinen Zylinder,* sondern ist *unten offen,* indem *das Hinterhauptloch höchstens oben und seitwärts von Teilen der Kopfkapsel umgeben wird,* nicht aber unten, daher ist auch die Mundteile-Öffnung von der Hinterhauptöffnung nicht durch eine Kopfkapselbrücke getrennt, sondern *geht in dieselbe über.* (Vergl. Abb. 24.) Bei *Thysanuren* und *Dermapteren* u. a. ist die Mundteileöffnung überaus weit und gross. Man vergleiche sie z. B. mit der der *Dipteren* und *Hymenopteren.* Die Kopfkapsel des Insektenkopfes ist überhaupt unten um so offener, je phylogenetisch niedriger die betreffende Gruppe steht. *An die unten vollkommen offene Kopfkapsel der Chilopoden schliesst sich die unten ebenfalls noch sehr weit geöffnete Kopfkapsel der Thysanuren und Dermapteren sehr schön an und von ihr aus kommen wir erst allmählich durch immer weitere Konzentration des Kopfes zu den zylindrischen Kopfformen der höheren Insekten, z. B. der Hymenopteren.*

Am *Kopfe* ist also *phylogenetisch* ein Vorgang der *Konzentration,* der immer grösseren Vereinheitlichung und der immer weiter gehenden Unterdrückung der Eigenartigkeit der typischen, selbständigen Segmente ebenso zu verfolgen wie an *Thorax* und *Abdomen.* (Vergl. *Machilis* weiter unten.)

Es erhebt sich die Frage, wie kommt die *untere Schädelkapselbrücke* (pons inferior cranii), welche die Öffnung für die Mundteile (fenestra oralis) von der Hinterhauptöffnung (fenestra occipitalis) trennt, zu stande?

*Mentum* und *Submentum* sind bei den *Dermapteren* diejenigen beiden Platten, welche die Stelle der pons inferior cranii höherer Insekten einnehmen. Sie stehen aber mit der Kopfkapsel in keiner festen Verbindung, vielmehr sind sie von ihren sämtlichen Nachbarteilen durch biegsame Zwischenhaut getrennt. (Abb. 7, 8 und 15.) In meiner Arbeit über „vergleichende Morphologie und Systematik der Embiiden“ Nova Acta, Halle 1904, habe ich bereits darauf hingewiesen, dass bei *Embia* das Submentum nicht mehr selbständig ist, sondern mit der Kopfkapsel verwuchs. Hierdurch wurde der erste Schritt getan zur Bildung einer mit der übrigen Kopfkapsel unbeweglichen und in einem Guss verwachsenen unteren Schädelkapselbrücke. Dieselbe ist aber bei *Embia* noch *schmal* oder *kurz* im Vergleich zu der grossen Masse höherer Insekten mit sehr grossem Kehlbezirk, z. B. *Geotrupes*

(Coleoptera) oder *Corydalis* (Neuroptera). Bei letzteren Gruppen u. a. ist allmählig die hintere Wangenpartie, im Anschluss an das aus einem losen *Submentum* zu einer eingeschmolzenen *Gula* gewordene Kehlgebiet, ausgedehnter geworden und hat sich unterhalb des Hinterhauptloches ausgebreitet.

Das seiner vergleichend-morphologischen Natur nach bisher verkannte *Mentum* habe ich bereits in meiner *Japygiden*-Arbeit im Archiv f. Nat. 1903 und in der genannten *Embiiden*-Arbeit Nova Acta 1904 erörtert und werde meine neue Erklärung desselben im folgenden auch hinsichtlich anderer Gruppen bestätigen. Auch das *Submentum* werde ich im folgenden klarzustellen suchen und dann auf die untere Brücke der Schädelkapsel zurückkommen.

* * *

Die *Kopfkapsel* der *Dermapteren* ist also, in Folge der freien Beweglichkeit von Mentum und Submentum eine durch Postcranium apertum ausgezeichnete. Sie ist oben mehr oder weniger gewölbt und greift hinten und seitwärts nach der Unterfläche herüber. Entfernt man an einem Dermapteren-Kopfe die Mandibeln und die beiden Maxillenpaare, nebst Mentum und Submentum, so blickt man von unten auf die weite Mundteileöffnung, welche jederseits von einem wulstigen Rande umgeben wird, welcher vorn zunächst nach hinten verläuft, weiter hinten aber mit einer tiefen concaven Bucht nach innen vorspringt. Diese Bucht, in welcher die grossen Stammteile der Maxillen sich an den Kopf legen, nenne ich *Maxillarsinus* (msi Abb. 24), den wulstigen Rand aber *Unterkopfrandlinie* (Margo cranii interoinferior). Zwischen den nach innen stark vorspringenden hinteren Enden der Unterkopfrandlinien befindet sich die untere, *klaffende Öffnung* des hier also nicht geschlossenen Hinterhauptloches. An diesen Randlinienenden bemerkt man ferner vorspringende Höcker (gh Abb. 24 und 25), auf welche wir weiterhin zurückkommen. Weiter nach oben, d. h. mehr ins Kopfinnere hinein bemerkt man allerdings eine Brücke zwischen den beiden gegenüberliegenden Kopfhälften, aber dieselbe ist endoskelettaler Natur und befindet sich oberhalb des Schlundganglions. Es handelt sich um das Innenskelett des Kopfes, das hintere Stück des Tentorium, welches für die äussere Kopf-

kapselabschliessung nicht in Betracht kommt. Die nach der Unterfläche des Kopfes herniedergebogenen Teile der Kopfkapsel (ge Abb. 24) sind als *Wangen* (Genae) zu bezeichnen und werden von den dorsalen Kopfkapselteilen durch eine feine, bisweilen aber auch kräftige, erhabene Kante (gel Abb. 24) welche ich *Wangenleiste* (costula genalis) nenne, getrennt. Diese Wangenleiste zieht am unteren Augenrande hin, reicht nach vorne aber nicht bis zum Mandibelgrunde, vielmehr befindet sich unten vor den Augen ein dreieckiger Zipfel (L x Abb. 42 und 43) als Wangenerweiterung. Nach hinten zieht die Wangenleiste zunächst der Unterkopfrandlinie ungefähr parallel und dann am Hinterkopfe herauf, wo sie aufhört, ohne die obere Fläche zu erreichen. Die *Wangen* sind also hinten von der oberen Kopfkapsel nicht scharf getrennt, können aber im ganzen scharf genug definiert werden als *seitliche, herabgebogene Kopfkapselteile, welche hinter der Mandibelbasis liegen (unterhalb der Augen) und zwischen Unterkopfrandlinie und Wangenleiste.* (Über die Begrenzung gegen die Basalstücke von Antenne und Mandibel vergl. das Weitere.)

Zum Vergleiche mit den *Dermapteren* schalte ich noch einige Worte über die Kopfkapsel von *Periplaneta* ein: Die ⋎ Naht ist vorhanden und namentlich vorne sehr fein. Zwischen den grossen Augen und zwar den oberen Teilen derselben, befindet sich die sehr feine Gabelung des ⋎, die manchmal auch verwischt ist, sodass *Frons* und *Vertex* nur undeutlich gegen einander abgegrenzt sind. Ferner kann man am *Vertex* zwei Teile unterscheiden, einen zwischen den Augen gelegenen schmalen *Antevertex* und einen *breiten,* hinter den Augen befindlichen *Postvertex,* welche beiden aber durch *keine* Naht sondern lediglich durch die äusseren Lageverhältnisse charakterisiert sind. Auch die sehr starke *Wölbung* des Oberkopfes trägt zu dieser Absetzung der beiden Vertexteile bei. Sehr deutlich ist bei *Periplaneta* die *Wangenleiste,* und zwar beginnt dieselbe hinter dem unteren Mandibular-Gelenkknopf und zieht in weitem Bogen *bis ganz an den oberen Rand des Hinterhauptloches,* sodass die um den Sinus maxillaris von *Periplaneta* herumlagernden *Wangen* (Genae) *vollkommen* d. h. auch hinten vom *Vertex* abgesetzt sind, was besonders im Vergleich mit den *Dermapteren* von Interesse ist, wo nur *Hemimerus* ein entsprechendes, aber doch wieder andersartiges Verhalten zeigt.

Während der Begriff des *Vertex* ein ganz *bestimmter* ist, gilt dies für das *Occiput* nicht. *De Bormaus* bezeichnet a. a. O. bei *Dermapteren* als „Hinterkopf“ in unbestimmter Weise das Hintergebiet des Vertex. Ähnliche unbestimmte Angaben lassen sich in der Litteratur genug finden. Und in der Tat ist der Begriff *Occiput* ein *schwankender,* deskriptiver, der um so mehr Berechtigung hat, je stärker der Vertex hinten herabgebogen ist, indem vor dem Hinterhauptloch eine Einschnürung stattfindet. Bei *Dermapteren* ist dieselbe deutlich, daher sich auch über dem Hinterhauptloch ein Occipitalbezirk findet, bei *Blattodeen* (Periplaneta) ist das Postvertexfeld ziemlich flach abgeschrägt, daher kann wohl von einem Occipital*rand* aber nicht wohl von einem Occipital*bezirk* gesprochen worden. Bei *Periplaneta* kann man, entsprechend der genannten *vollständigen Wangenleiste vordere* und *hintere Wangen* unterscheiden, von denen *die vorderen* (welche runzelig sind) *neben dem Sinus maxillaris,* die *hinteren* (welche ziemlich glatt sind) *neben dem Hinterhauptloch liegen.* Man kann dieselben dann auch unterscheiden als

*Cosinus-Wangen* und
*Foraminale-Wangen.*

Bei *Hemimerus* fand ich, im Gegensatze zu den anderen *Dermapteren,* die Wangen auch hinten deutlich gegen die übrige Kopfkapsel begrenzt (Abb. 37), indem die hinteren Teile der Wangenleisten quer an das Hinterhauptloch laufen. Allerdings sind die Wangenleisten bei *Hemimerus* dann in der Mitte durchbrochen (x), was dem starken Vortreten der seitlichen Kopfzipfel dieser Gattung entspricht.

Von den *Japygiden* konnte ich a. a. O. 1903 sogar ganz selbständige Wangenteile nachweisen, d. h. eine volle Selbständigkeit der dorsalen Kopfplatte gegenüber. (Vergl. S. 94 den Abschnitt über „die Unterlippe und die Backen.“) Hält man sich ferner vor Augen, dass die Kopfplatte der *Chilopoden* namentlich in der hinteren Hälfte sehr flach ist und dass dort statt der herabgebogenen Seitenbezirke freie Pleurite zu beobachten sind, ferner dass am Insektenkopfe für die drei Kiefersegmente keine ecoxalen Pleurenstücke, abgesehen von den kleinen postmentalen anderweitig zu finden sind und endlich, dass die Backenregion die Stelle einnimmt, an welcher man bei typischen, beintragenden Rumpfsegmenten Pleurenstücke beobachtet, so steht der Auffassung der Backen oder *Wangen als mit der Kopfplatte verwachsener*

*ecoxaler Pleurenteile* nichts im Wege. Da wir im folgenden, wenigstens an den Maxillen, *co*coxale Pleurite kennen lernen werden und die Backenteile sich bei den *Dermapteren* deutlich genug durch das Gebiet der drei Kiefersegmente erstrecken, so fasse ich *die Wangen* als ecoxale Pleurenteile auf und zwar als ein *Sympleurion, entstanden durch Verschmelzung der ecoxalen Pleurite von zwei bis drei Kiefersegmenten.*

* * *

An der übrigen Kopfkapsel können wir in der Folge von vorne nach hinten noch folgende Teile unterscheiden:

1. *Die Oberlippe, Labrum,*
2. *das kleine Vorderschild, Anteclypeus,*[1])
3. *das grosse Hinterschild, Postclypeus, Hauptclypeus,*
4. *die Stirn, Frons,*
5. *den Scheitel, Vertex.*

Ausserdem kommen noch in Betracht:

6. *Die Basalstücke* der Mandibeln und Antennen.

1. Die *Oberlippe* erstreckt sich bei den *Dermapteren* meist in die Breite und ist vorne und seitwärts zugerundet. Bei *Forficula* (Abb. 17, 19 und 21) ist sie beträchtlich breiter als lang, bei *Allosthetus* (Abb. 11) nahezu halbkreisförmig, bei *Hemimerus* ganz bedeutend breiter als lang (Abb. 33). Immer aber finden wir *drei Randstellen* besonders ausgezeichnet, eine *mittlere,* welche mit zahlreichen feinen Zäpfchen oder Stäbchen dicht besetzt ist und mit diesen schon mehr nach der Unterfläche zu gelegen ist (Abb. 21 op) und zwei *seitliche* in der Vorderhälfte, welche eine Anzahl grösserer und meist auch etwas nach innen zu gebogener Tastborsten aufweisen. (Anderweitige Eigentümlichkeiten des Labrums werden beim *Epipharynx* besprochen.)

2. Der *Anteclypeus* (Abb. 11 B) ist meist durch eine Nahtlinie vom Labrum scharf getrennt und unterscheidet sich von ihm sowohl als auch vom Postclypeus durch den Mangel der Tastborsten. Auch ist er nicht so stark chitinisiert als jene beiden und vor allem auch fast garnicht pigmentiert.

---

[1]) Vergl. A. S. Packard 1883, „The systematic Position of the Orthoptera in Relation to other Orders of Insects.“ „Third Report of the United States Entomological Commission.“ Anteclypeus Packard = Clypeolus Enderlein (Budapest 1903).

Er hat mithin bei *Dermapteren* den Charakter einer Intersegmentalhaut, ist aber gleichwohl nicht von der typischen Beschaffenheit einer solchen, da er durch stärkere Chitinisierung eine entschieden *festere* Struktur besitzt. Dieselbe bringt es mit sich, dass gewisse, weiter unten zu besprechende Muskeln die Oberlippe nicht einfach gegen den Hauptclypeus heraufziehen, etwa in der Art wie zwei freie Sklerite gewöhnlich aneinander gedrängt werden können, sondern sie vielmehr im Bogen nach unten biegen, sodass bei Muskelerschlaffung die Oberlippe, vom Drucke der Mundteile abgesehen, auch durch die Elastizität des Anteclypeus wieder nach oben getrieben wird. Allerdings gibt es einen kräftigen Muskel (Abb. 52 lamr), welcher von der Frons ausgehend sich an die Mitte des Hinterrandes des Labrum befestigt, aber er zieht Labrum und Clypeus zugleich nach unten, das Labrum nur wenig rückwärts. Durch Pigmentierungs- und Borstenmangel ist der Anteclypeus gegen den Postclypeus deutlich genug abgesetzt, nicht aber durch eine so scharfe Naht wie gegen das Labrum. — *Hemimerus* besitzt keinen besonderen Anteclypeus.

3. Der *Postclypeus* ist stets (wie auch der Anteclypeus) bedeutend breiter als lang und seine hintere Begrenzung gegen die Stirn ist nach den Gattungen verschieden deutlich. Bei *Allosthetus* ist die clypeofrontale Naht schon bei der Nymphe in der Mitte erloschen, an den Seiten aber deutlich genug, bei den Imagines ebenso, nur ist die mittlere Verlöschungsstrecke etwas länger. Ähnlich verhält sich *Echinosoma,* während bei *Pygidicrana* und *Karschiella* die Naht der ganzen Quere nach überall deutlich und scharf ausgeprägt ist. Bei *Apachyus* ist diese Naht grösstenteils, bei *Hemimerus* völlig erloschen. Bei *Forficula auricularia* zeigen sowohl junge Larven als auch Imagines eine Absetzung selbst in der Mitte, aber nur seitlich ist dieselbe scharf.

4. *Die Stirn* (Frons) nach vorne meist durch die oben besprochene Naht begrenzt, wird vom Scheitel durch die Seitenarme der Y förmigen Scheitelnaht getrennt. Dieselbe läuft mit ihrem medianen Teil vom Hinterhauptloch nach vorne etwa bis in die Richtung der Augenhinterränder, gabelt sich dann unter stumpfen Winkeln nach aussen und zieht gegen die Augenmitte. Bei Larven von *Forficula auricularia* ist diese Scheitelnaht sehr deutlich, während bei den Imagines die äusseren Strecken der Seitenteile

erloschen sind. (Abb. 19.) Vollständig und sehr deutlich sind diese Nähte bei *Apachyus, Echinosoma, Labidura, Karschiella, Allosthetus* u. a. Bei *Pygidicrana* fand ich sie beinahe vollständig, während sie bei *Hemimerus* ebenso vollkommen verschwunden sind wie die Augen. — Bemerkenswert ist noch, dass im Innern der Kopfkapsel der mediane Nahtteil von wulstigen Kanten begleitet wird, die schrägen Strecken aber nicht.

5. Der *Scheitel, Vertex* ist nach dem Gesagten stets durch eine sagittale Naht in zwei Hälften geteilt, nur bei *Hemimerus* fehlt diese vollständig.

6. Als *Basalstück der Mandibeln* (Lamina basalis mandibularis) bezeichne ich ein kleines, je nach den Gattungen etwas verschieden gestaltetes und manchmal auch mit einigen Tastborsten besetztes Kopfsklerit (bamd Abb. 42 und 43), welches vorne breit *an die Mandibelbasis stösst,* hinten sich verschmälert und *unterhalb* der Antennengrube, *oberhalb* des Wangenvorderzipfels nnd mithin auch des unteren Gelenkhöckers für die Mandibeln und vor den Augen liegt. Dieses mandibulare Basalstück beobachtete ich bei allen *Dermapteren,* einschliesslich *Hemimerus,* doch ist bei dieser Gattung die Grenze gegen die Wangen erloschen.

7. *Basalstück der Antennen* (Lamina basalis antennarum) nenne ich ein anderes, annähernd dreieckiges Skelettstück des Kopfes, welches die *Antennengrube* enthält und einen *Seitenbezirk der Stirn* ausmacht. Es grenzt vorne an den Hauptclypeus, hinten an die Augen und unten an das Basalstück der Mandibeln und den Zipfel am Vorderteil der Wangen. (Dieser Vorderteil der Wangen wird also nach oben begrenzt vorne durch das mandibulare und hinten durch das antennale Basalstück.) Die Antennengrube wird nach dem Kopfinnern zu von einem *wulstigen Randringe* (antr) umgeben, welcher sich unten (Abb. 42) zu einem ins Innere der Antennengrube vorspringenden *Antennenzapfen* fortsetzt, der ein Gelenk bildet mit einem unteren Basalknoten des 1. Antennengliedes. Die untere Grenze des Antennenbasalstückes ist scharf ausgeprägt und läuft hinten gegen den vorderen oder oberen Augenrand. Die obere Grenze, welche gerade die Begrenzung gegen die Stirn ausmacht, ist meist undeutlich, oder auch ganz erloschen, so bei *Forficula, Allosthetus, Apachyus, Labidura* und *Echinosoma.* Vollständig fand ich sie nur bei *Karschiella,* wo sie an der vorderen Aussenecke der Stirn, also hinter dem oberen Gelenk für die Mandibeln beginnend,

unter schwach S-förmigem Schwunge nach hinten zieht und vorne oben an die Augen stösst, wodurch oberhalb der Antennengrube ein vorne schmales, hinten breiteres Feld abgegrenzt wird. (Da es sich teilweise um eine kleine Kante handelt, ist dieselbe auch mit der Lupe schon deutlich wahrzunehmen.) Bei *Pygidicrana marmoricrura Serv.* ist diese Naht ebenfalls deutlich, aber vorne und hinten etwas abgekürzt. Ähnlich verhält sich *Diplatys,* doch ist das abgegrenzte Stück über der Antennengrube nur ein schmaler Streifen.

Es ist auffallend, dass bei *Hemimerus,* wo die Nähte zwischen Clypeus, Frons und Vertex vollkommen erloschen sind, das Basalstück der Antennen gut ausgeprägt ist. Das Stirngebiet, welches bei *Hemimerus* auffallend viel breiter ist als der Clypeusbezirk (Abb. 45), sodass aussen zwischen ihnen eine ungefähr rechtwinklige Bucht entsteht, wird aussen durch eine Kante x x, welche von hinten über die Antennengrube greift, bis auf eine kurze vordere Strecke, wo eine Abgrenzung fehlt, vom Basalstück der Antennen getrennt. Unten ist seine Abgrenzung gegen die Wange (ge Abb. 44) eine besonders scharfe, indem die obere Wangennaht (gel) nach vorne scharf durchzieht, dort aber nach der Kopfoberfläche zu in die hintere obere Begrenzungslinie des mandibularen Basalstückes übergeht. Während Wange und mandibulares Basalstück vor der äusseren Mandibalbasis in einander übergehen, sind mandibulares und antennales Basalstück durch Naht scharf voneinander getrennt. Die hintere Grenze des antennalen Basalstückes wird bei *Hemimerus* durch eine Naht gebildet (g Abb. 44), welche von der oberen Wangennaht schräg nach oben an die Kopfseiten zieht.

## 2. Das Tentorium.

Die inneren Skelettstücke der Kopfkapsel sind mit dieser und untereinander verwachsen und bilden ein Gerüst, welches als *Tentorium* bekannt ist. Ein solches kommt allen *Dermapteren* zu und findet sich auch bei *Hemimerus.* Es durchzieht den Kopf ungefähr in der Richtung von hinten nach vorne und ist *hinten* an zwei Stellen, unten am Hinterhaupte befestigt, etwas über und vor den schon genannten, seitwärts von der unten klaffenden Hinterhauptöffnung gelegenen, *unteren Hinterhaupt-Gelenkhöckern* (gh der Abb. 24 von *Allosthetus*), welche die unteren Enden des Wulstes bilden, welcher das Hinterhauptloch umgibt. *Vorne* befinden sich die beiden Haupt-

Befestigungsstellen des Tentoriums bei der oberen Mandibelbasis, unter den vorderen Stirnseiten, unmittelbar hinter den Hinterecken des Postclypeus, wo die oberen mandibularen Gelenkgruben sitzen. ($\alpha$, o G Abb. 24.)

Das Tentorium bildet eine, der Kopfunterfläche annähernd parallele dicke *Platte,* welche hinten direkt am Hinterhaupte und zwar an den oben geschilderten Stellen befestigt ist, während sie vorne zwei Paar Arme besitzt, von denen das *hintere* Paar $\gamma$ seitwärts und etwas nach hinten abgeht und mit seinen zum Ansatz von Muskeln bestimmten, in eine dünne zerfaserte Platte verbreiterten Enden frei ausläuft, während das *vordere* Paar $\alpha$ schräg nach aussen und zugleich auch schräg nach oben gerichtet ist, mit seinen Enden in der vorne geschilderten Weise befestigt. (Vergl. Abb. 20, 24 und 37.) Diese *mandibularen* Tentoriumarme bilden mit dem Vorderrande des *Stammteiles* des Tentorium eine breite concave Bucht. Hinten geht an den *mandibularen* Tentoriumarmen ein kleinerer Zweig $\beta$ ab (Abb. 24 und 44), welcher als *antennaler* zu bezeichnen ist, da er für basale Antennenmotoren bestimmt ist und mit seinem Enden an der Kopfkapsel nahe der Antennenbasis befestigt ist, zwischen mandibularem und antennalen Basalstück (Abb. 44 $\beta\,\beta$.)

Der *Stamm* des Tentoriums besitzt hinter der Mitte eine deutliche *Quernaht* (Abb. 24 $\eta\,\eta$), in der Mediane aber eine *Längsnaht* $\varepsilon\,\varepsilon$. Dieses *Nähtekreuz* zeigt die von embryologischer Seite festgestellte Entstehung des Tentoriums aus *zwei Paar getrennter Elemente,* als auch bei Imagines deutlich erkennbar. Als Ursprungsstellen haben die zwei Paar geschilderten Befestigungsstellen des Tentoriums an der Kopfkapsel zu gelten, wobei dann die *antennalen* noch als drittes Paar hinzukommen. Auf die hinter der Quernaht $\eta$ gelegenen Teile $\delta\,\delta$ des Tentoriums, welche keine besonderen Fortsätze besitzen, werden wir weiterhin zurückkommen.

## 3. Die Antennen.

In der schon oben geschilderten Antennengrube (Abb. 42 antr) sind die Fühler eingelenkt. Auf deren nach Gattungen und Arten schwankende *Zahl* der Glieder mit vielen Einzelheiten einzugehen, ist um so unnötiger, als darüber genug Angaben selbst von solchen Autoren vorliegen, welchen

die vergleichende Morphologie der *Dermapteren* wenig bekannt war. Erwähnt sei nur, dass die jüngsten Larven von *Forficula auricularia zehn*gliedrige Antennen besitzen, die Imagines aber *14*-gliedrige, nach *de Bormans*[1]) sogar *15*-gliedrige, während nicht wenigen andern *Dermapteren* Antennen mit viel höherer Gliederzahl zukommen, *Apachyus* z. B. *40—50*-gliedrige. *De Bormans* gibt die Gliederzahl im allgemeinen als von 10—50 schwankend an, was ich bestätigen kann. Im erwachsenen Zustande besitzt *Hemimerus* 11-gliedrige Antennen. Junge Larven haben nur 8 Fühlerglieder, während der letzten Entwicklungsform 10 zukommen. (Abb. 31.) Bei den jüngsten dem Ei entschlüpften Lärvchen von *Forficula* sah ich stets 10 Antennenglieder, vermute aber, dass es andere *Eudermapteren* gibt, deren Larven, wie bei *Hemimerus,* mit geringerer Fühlergliederzahl das Ei verlassen. *Krauss*[1]) hat (wohl nach *Saussure* und *Hansen*), für *Hemimerus* ebenfalls 11-gliedrige Antennen angegeben.

Man kann das 1. Antennenglied der Dermapteren als *Schaft* den übrigen Gliedern als *Geissel* um so mehr gegenüberstellen als es nicht nur durch seine Grösse ausgezeichnet ist (Abb. 19, 31 und 46), sondern auch allein unter allen Gliedern stets eine kräftige *Muskulatur* enthält. In den Geisselgliedern fand ich bei *Dermapteren* niemals Muskeln. Der *Schaft* dagegen enthält *vier* kräftige Muskeln, einen oberen, einen inneren, einen äusseren und einen unteren, durch welche die Geissel nach allen Richtungen gedreht werden kann. Will das Tier seine Fühlergeisseln aber stark einbiegen, so geschieht das entweder durch den Druck äusserer Gegenstände oder aber, wie bei dem Säuberungsgeschäft, durch Vermittelung der Vorderbeinchen, welche die Fühler herunterbiegen und so zwischen die Mundteile stecken und zwar zwischen die gegen einander gerichteten inneren Teile der beiden Maxillenpaare. Die Fühlerbewegung wird ferner bewirkt durch die basalen Muskeln des Schaftes, welche, wie Abb. 37 von *Hemimerus* zeigt, von den kleinen antennalen Tentorium-Armen abgehen. Von unten her erhält der Fühler durch einen schon erwähnten Zapfen der Antennengrube (Abb. 42) eine besondere Stütze.

---

[1]) Das Tierreich, 11. Lieferung, Berlin 1900, Forficulidae und Hemimeridae Seite 122.

Dass die Antennen mit zahlreichen Tastborsten besetzt sind, ist bekannt. Ferner hat *Hansen*[1]) in einem hübschen Aufsatze über *Hemimerus* besondere Gruppen von kurzen Sinnesstäbchen nachgewiesen, welche sich an mehreren endwärtigen Gliedern unterwärts befinden. (Er nennt sie „sense pits of different size.“) Ich kann diese Angaben bestätigen und will noch hinzufügen, dass diese auch von *Hansen* in gedrängten, endwärts gelegenen Gruppen angegeben, mit kleinen kurzen und spitzen Stäbchen versehenen Sinnesgrübchen in dieser reichlichen Entwickelung nur den Geschlechtsreifen und ältesten Larven, letzteren aber schon etwas spärlicher zukommen. Ich fand sie bei beiden Geschlechtern und zwar am 6.—11. Gliede gut entwickelt, am 5. schwach. Ferner ist zu bemerken, dass es dreierlei Sinnesgrübchen gibt, welche man in Abb. 47 angegeben findet. Die *kleinsten*, zahlreichsten und in gedrängten Gruppen auftretenden Grübchen, welche unten vor dem Ende jener Glieder liegen, enthalten spitze Stäbchen, *mittelgrosse*, welche nur sehr kurze, schwer wahrnehmbare Zäpfchen enthalten, finden sich zu wenigen (2, 3 oder 4) oben oder unten endwärts an den fünf letzten Gliedern, *grosse* gibt es nur wenige, drei oben und am Ende des Endgliedes und zwei oben endwärts an den drei vorletzten Gliedern. Diese letzten Sinnesgrübchen, von denen *Hansen* eins am Endgliede zeichnete, besitzen kein Stäbchen, die mittleren erwähnte er nicht. Sinnesgrübchen kommen auch schon bei den jungen Larven mit 8-gliedrigen Fühlern vor, aber viel spärlicher. Aus *Hansens* Abb. 11 geht hervor, dass die noch im Leibe des Muttertieres befindlichen Larven ebenfalls 8-gliedrige Antennen besitzen. Der Vergleich der *8-*, *10-* und *11*-gliedrigen *Hemimerus*-Antennen zeigt deutlich, dass die 10-gliedrigen (Abb. 31) dadurch aus den 8-gliedrigen entstehen, dass das 3. Glied der letzteren in 3 kleine Glieder aufgelöst wird, denn dieses 3. Glied ist das *grösste* Geisselglied, während bei den 10-gliedrigen Antennen das 2. und 3. Geisselglied besonders klein sind. Noch kleiner ist aber das 2. Geisselglied bei den 11-gliedrigen Antennen und zeigt, dass sich das 2. Geisselglied der 10-gliedrigen Antennen (Abb. 31) abermals zerteilt hat.

---

[1]) „On the Structure and Habits of Hemimerus talpoides Walker.“ In: Entomologisk Tidskrift, Stockholm 1904, S. 65—93, 2 Tafeln.

Die *Hemimerus*-Antennen entwickeln sich also folgendermassen:

| | | Geisselglieder: | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Junge Larven: | Fühlerschaft | 1 | | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7. |
| Alte Larven: | Fühlerschaft | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9. |
| Imagines: | Fühlerschaft | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10. |

Es handelt sich mithin um ein hinter dem 2. Antennengliede erfolgendes basales Geisselwachstum, was zugleich ebenfalls den schon berührten Unterschied zwischen Schaft und Geissel hervortreten lässt, den wir auch mit Coxa und Telopodit zum Ausdruck bringen können.

Bei den jüngsten Larven von *Forficula* ist das 2. Geisselglied ebenfalls auffallend gross (Abb. 46) und man kann bereits eine leichte Einbuchtung x x wahrnehmen, welche die bei älteren Larven erfolgende durchschnürung dieses Gliedes anzeigt. Die Antennentwickelung entspricht also der von *Hemimerus* beschriebenen.

Die Beborstung der *Forficula-Antennen* welche sehr dicht ist, ist durchaus keine gleichmässige, vielmehr kann man leicht viererlei Borsten unterscheiden, lange, mittlere und kurze und ausserdem sehr kurze, welche besser als *Stifte* zu bezeichnen sind. Die Letzteren, welche den geschilderten Sinnesstiften von *Hemimerus* ähneln, stehen auch hier in den endwärtigen Gebieten der Fühlerglieder, übrigens zerstreut zwischen den Tastborsten, *nicht* in besonderen Gruppen zusammengedrängt. Auch hier treten die Sinnesstiftchen vom 5. Antennengliede auf, d. h. zugleich von demjenigen Gliede an, welches einen *reichlichen Tastborstenbesatz* aufweist. Das *1.—4.* Fühlerglied besitzen nur spärliche Borsten. Dieses Verhältnis gilt auch schon für die jüngsten Larven.

Die Fühlerendglieder sind nur durch etwas zahlreichere Sinnesstiftchen am Ende ausgezeichnet und durch eine einzelne grössere Sinnesgrube mit einem winzigen Stiftchen.

Bei manchen anderen Dermapteren-Gattungen, z. B. Labidura, Karschiella, *Echinosoma* und *Pygidicrana,* sind *alle* Antennenglieder reichlich beborstet, auch der *Schaft,* ein Verhalten, welches das ursprüngliche zu sein scheint. Bei *Allosthetus* ist nur das 1. und 2. Fühlerglied spärlich, die übrigen reichlich beborstet, ebenso bei *Apachyus,* wo aber vom 3. an die

Beborstung ganz allmählig reichlicher wird. Die Beborstung ist auch bei *Apachyus* von verschiedener Länge, Sinnesstiftchen treten aber nur sehr spärlich an den Gliederenden auf.

Die obige Fühlerentwickelung zeigt,[1]) dass von dem basalen Geisselwachstum das 1. Geisselglied, welches ich *Flagellobasale* nenne, nicht berührt wird, dass es vielmehr seine Beschaffenheit während der postembryonalen Entwickelung im wesentlichen beibehält. Ausserdem ist dieses Glied oft noch durch seine Grösse (*Hemimerus*) oder durch spärliche Beborstung (*Allosthetus*) vor den folgenden Geisselgliedern ausgezeichnet. Eine besonders merkwürdige Einrichtung aber, welche bei fast allen *Dermapteren* vorkommt, besteht in einem am Endrande des *Flagellobasale* befindlichen und rings um das Glied laufenden *Porenkranz*. (a b Abb. 48.) Die Wandung am Endrande wird von ziemlich weiten, etwas bauchigen Kanälen durchsetzt, welche in der *Haut* zwischen dem 1. und 2. Geisselglied mit ausserordentlich feinen Poren münden. Diese Haut am Grunde des 2. Geisselgliedes ist übrigens *auffallend schmal* (Abb. 48 a b und c), und vor den Zwischenhäuten am Grunde aller übrigen Fühlerglieder auch durch das Fehlen sehr kleiner Wärzchen ausgezeichnet, welche sonst in diesen Häuten in grosser Zahl normaler Weise vorkommen und oft den Eindruck einer feinen dunklen Punktierung hervorrufen. (Abb. 42 und 46.) Besonders auffallend ist diese Punktierung in der Haut der Antennengrube. Das Gebiet am Endrande des Flagellobasale ist also nicht nur durch den Porenkranz, sondern auch die Schwäche und Schmalheit der dortigen Zwischenhaut ausgezeichnet. Den Porenkranz fand ich bei zahlreichen *Dermapteren* in deutlicher Ausbildung, ich erwähne nur *Hemimerus, Apachyus, Pygidicrana, Echinosoma, Allosthetus, Labidura* und *Forficula,* schwach und wenig deutlich fand ich ihn bei *Anisolabis maritima,* aber vermisst habe ich ihn nur bei *Karschiella.* Ausser dem durch höchst feine Mündungen bemerkenswerten *Porenkranz* (Abb. 48 und 49), dessen einzelne Poren gedrängt stehen, gibt es noch einen etwas davor, d. h. mehr grundwärts gelegenen Ring von

---

[1]) Verweisen möchte ich hier auf H. J. Kolbes Buch „Einführung in die Kenntnis der Insekten“ 1903 S. 181 und 182, wo das Grundglied der Fühlergeissel als Pedicellus hervorgehoben wird. Dort sind auch Fritz Müllers Beobachtungen über die ursprüngliche Dreiteilung der Insektenfühler angeführt.

durchschnittlich 8 Poren, welche in annähernd gleichen Abständen auftreten und bedeutend grösser sind. (Abb. 48.) Das ganze Auftreten und die Lage dieser beiden Porenringe *in und an einer Gelenkhaut* deutet schon darauf hin, dass wir es mit den Mündungen einzelliger Drüsen zu tun haben. Bei *Hemimerus* glaube ich auch solche gesehen zu haben, hoffe jedoch, sobald mir lebende Dermapteren wieder genügend zur Hand sind, diese Frage endgültig entscheiden zu können. Jedenfalls können wir dieses Organ, das durch die beiden Porenringe angezeigt wird, als flagellobasales bezeichnen. (Also wahrscheinlich flagellobasale Drüsenringe.) In Abb. 48 sind bei s, s 1 und s 2 die Sehnen und bei z 1 der Zapfen der vier im Fühlerschaft enthaltenen und bereits oben erwähnten Muskeln angegeben.[1]) Innenwärts bemerkt man ausserdem noch einen bei manchen Formen durch seine dunkle Farbe auffallenden Zapfen z, welcher einem Gebilde angehört, das in seiner Gesamtheit aus Abb. 49 f von *Pygidicrana* besser zu ersehen ist. Es handelt sich um ein dickes Chitinband, welches sowohl innen am Ende des Fühlerschaftes als auch innen vor dem Ende im Flagellobasale befestigt ist. *Innerhalb* dieses im übrigen glasigen Chitinbandes liegt der dunkelbraun pigmentierte in Abb. 48 von *Apachyus* dargestellte Zapfen z, welcher in seinem Innern eine *gelenkartige Stelle,* ungefähr in der Ebene des Gelenkes zwischen Schaft und Flagellobasale, enthält. Ich bezeichne dieses ganze Gebilde (f Abb. 49) als *flagellobasale Feder,* deren *physiologische Bedeutung* eine doppelte ist. Einmal *verstärkt dieselbe das der bei weitem grössten Drehung ausgesetzte Gelenk zwischen Schaft und Geissel* und dann lässt sie, infolge ihrer grosssen Elastizität und der festen Verwachsung mit der Wand des Flagellobasale dieses und damit die ganze Geissel in eine gewisse *Ruhelage* zurückgehen, wodurch Muskelkraft gespart wird. Diese Ruhelage besteht, wie die direkte Beobachtung am lebenden Tiere zeigt, darin, dass der Schaft der Antennen nach der Seite, die Geissel aber ein wenig schräg nach hinten gerichtet ist. Bewegt irgend ein Gegenstand die Geissel aus

[1]) A. a. O. sagt Kolbe auf S. 359 ganz allgemein von den Insekten: „Ferner haben alle Glieder der Fühler je zwei Muskeln von entgegengesetzter Wirkung.“ Diese Angabe bedarf der Berichtigung. Bei Dermapteren fand ich in den Geisselgliedern keine Muskeln und auch die direkte Beobachtung über die Bewegungsweise der Antennen sprach nicht für das Vorhandensein solcher. (Man vergl. dagegen die vielfach und mit allen Gliedern beweglichen Antennen der Lithobiiden.)

dieser Ruhelage, welche dem Schlüpfen der Ohrwürmer durch Löcher und Spalten angepasst ist, etwa nach vorne, so *kehrt sie durch die Elastizität der flagellobasalen Feder wieder in die Ruhelage zurück.* Dies ist eine *passive* Bewegung, hervorgerufen durch äussere Druckkräfte, während die *aktive* Bewegung entweder der Geissel oder der ganzen Antennen durch die bereits geschilderten Muskeln am Fühlergrunde und im Fühlerschaft bewirkt wird. Der in Abb. 42 dargestellte und ebenfalls schon oben erwähnte untere Zapfen der Antennengrube stützt den Fühlerschaft in seiner Ruhelage.

Bei *Hemimerus* kommen die flagellobasalen Federn ebenfalls vor, reichen im Geisselgrundgliede aber nicht in die endwärtige Hälfte sondern sind kurz vor der Mitte angewachsen. Die Drüsen des Porenkranzes dienen wahrscheinlich zur Befeuchtung basaler Antennenteile, welche bei dem bekannten Säuberungsvorgang, nämlich Durchziehen der Antennen zwischen den Mundteilen, von diesen nicht mehr erreicht werden können.

## 4. Die Mandibeln.

Nachdem im vorigen bereits die mandibularen Basalstücke besprochen worden sind, kann ich mich hinsichtlich der Mandibeln selbst kurz fassen. Betonen will ich die *Asymmetrie beissender Mandibeln als etwas gewöhnliches,* während von anderer Seite geglaubt wurde, dass die *Symmetrie* etwas gewöhnliches sei. Vollständig symmetrische Mandibeln habe ich bis jetzt überhaupt noch nicht beobachtet, nur der *Grad* der Asymmetrie ist ein verschiedener, in dem diese bald schon dem unbewaffneten Auge auffällt, bald erst bei genauerer Prüfung ersichtlich wird.

Bei den *Dermapteren* habe ich stets asymmetrische Mandibeln beobachtet. Diese Asymmetrie wird allerdings nur dann recht deutlich, wenn man die Mandibeln frei präpariert. Dass bei den beissenden Kiefern die Asymmetrie etwas gewöhnliches ist, ergibt sich aus der *Funktion.* Die *Dermapteren*-Mandibeln haben im allgemeinen die Gestalt von keilartigen, dicken Messern, deren breite Anschwellung aussen und deren scharfe Kante innen liegt. Arbeiten derartige Keilmesser kneifend und schneidend gegeneinander, so treffen sie bei ihrem Vordringen nach innen schliesslich aufeinander. Da aber die vorragenden Spitzen nicht aufeinander stossen, so

müssen dieselben bei der einen Mandibel über die der andern weggreifen. Um sich aber dabei möglichst aufeinanderpressen zu können, müssen Vorsprünge einer Mandibel in Vertiefungen der anderen eingreifen, es erfordert die Tätigkeit der Mandibeln, welche nicht nur eine einschneidende sondern auch *zerquetschende* sein soll, ein möglichstes Anpassen beider aneinander. Am Innenrande der Kiefer bemerkt man bei allen *Dermapteren* endwärts mehrere, nach den Gattungen und Arten verschieden gestaltete Zähne (Abb. 27 und 44), grundwärts aber eine Anzahl zusammengedrängter Borsten. Jene Zähne sind an den beiden Mandibeln asymmetrisch gestaltet und auch der innere Rand oder die Messerkante zwischen Zähnen und Borstengruppe ist verschieden gekrümmt. Eigentliche Mahlzähne aber kommen nicht vor. Die *Mandibeln* sind durch ein *Scharniergelenk* an der Kopfkapsel befestigt. Der *obere* Gelenkknopf besteht darin, dass ein breiter, etwas eingebuchteter Mandibelzapfen (o H Abb 27) in eine entsprechende Grube greift, welche sich an den Hinterecken des Postclypeus befindet (Abb. 24 o G) und aussen neben dieser Grube greift ein kleiner Höcker in jene Bucht des Mandibelzapfens. Der *untere* Gelenkknopf besteht in einem ungefähr halbkugeligen Höcker (u H Abb. 27), der in eine entsprechende, tiefe Grube greift, welche sich am Vorderende der oben geschilderten Wangen befindet. (u G Abb. 24.) Innen und aussen am Mandibelgrunde kommen starke Sehnenblätter vor (s und s 1 Abb. 27), an welche sich eine mächtige bis ins Hinterhaupt reichende Muskulatur anheftet. Das Innere der Mandibeln ist keineswegs massig, sondern es ziehen Tracheen und Nerven hinein, welche letzteren die Tastborsten zu versorgen haben, welche sich grundwärts an der Aussenfläche zerstreut finden.

## 5. Die Maxillopoden.

Die als Unterkiefer oder Maxillen allbekannten Mundteile unten an den Kopfseiten liegen mit ihren basalen Stücken der Länge nach neben und unter jenen Wangenrändern, welche ich oben als Sinus maxillaris (Abb. 24 msi) beschrieben habe, durch eine glasige, feine Haut mit ihnen verbunden. Diese basalen Stücke lassen sich ohne Schwierigkeit als zwei hintereinander gelegene Abschnitte erkennen, einen grossen vorderen und einen kleinen

hinteren, welche gelenkig gegeneinander beweglich sind. (Tafel I.) Das grosse vordere Stück ist als Stamm oder Stipes, das kleine hintere als Angel oder Cardo bekannt. Da dem grossen vorderen Stücke *aussen* ein beinähnlicher gegliederter Palpus und *innen* zwei eingliedrige Anhänge aufsitzen, so kann. zumal bei Berücksichtigung der weiter unten erörterten Muskulaturverhältnisse, das Vorderstück als *Hüfte, Coxa* bezeichnet werden, während das Hinterstück weiterhin seine Erklärung findet. In meiner Arbeit „zur vergleichenden Morphologie[1]) und Systematik der *Embiiden*“ habe ich bereits verschiedene Mitteilungen über diese Maxillenhüften gemacht und kann darauf verweisen. Nachdem ich ferner gezeigt habe, dass sowohl die Kieferfüsse als auch die beiden Maxillenpaare der *Chilopoden*[2]) als umgewandelte Beine erweislich sind und dem gemäss auch *Mundfüsse* benannt wurden, kann das auch auf die beissenden Mundteile der Insekten Anwendung finden, in der Weise, dass Maxillen und Labium ebenfalls als Mundfüsse bezeichnet werden, wobei ich ausserdem die Namen *Maxillopoden* und *Labiopoden* einführe, welche zwischen historischem Gebrauch und neuer Erkenntnis vermitteln.

In der genannten *Embiiden*-Arbeit habe ich bereits gezeigt, dass die bisher unter den Bezeichnungen innere und äussere Lappen, Lobi, bekannten, den Mundbeinhüften innen aufsitzenden Teile den bei vielen niederen *Antennaten* auftretenden Coxalorganen homodynam sind. Dort schlug ich auch bereits für diese Teile den gemeinsamen Namen *Coxomerite* vor. Dazu bemerke ich noch, dass die äusseren und inneren Coxomerite nicht gleichzeitig äussere und innere Coxalorgane genannt werden können, sondern *beide* sind als *innere* Coxalorgane zu bezeichnen, da als *äussere* sich die *ausserhalb der Hüften* auftretenden *Styli* darstellen. Im folgenden Schema ist das zum Ausdruck gebracht:

| *Styli* | *Telopodite* (= Palpen) | *äussere Coxomerite* (Lobi externi) | *innere Coxomerite* (Lobi interni) |
|---|---|---|---|
| *äussere Coxalorgane* | | *innere Coxalorgane* | |

den *Hüften* aufsitzend.

[1]) Kais. Akademie d. Naturf. Halle, Nova Acta 1904.

[2]) Vergl. die „Beitr. zur Kenntnis paläarkt. Myriopoden“, Nova Acta, Halle 1901 und über Tracheaten-Beine, 6. Aufsatz, Hüften und Mundfüsse der Chilopoden in Archiv f. Naturgesch. Berlin 1904.

Die *Hüften* der Maxillopoden der *Dermapteren* sind keine geschlossenen Cylinder, sondern Halbcylinder, was mit ihrer an die Wangen längs angedrückten Lage zusammenhängt. Sie bestehen in der Regel aus vier Abschnitten, denen bisweilen noch ein oder zwei andere hinzukommen können. Statt einer einheitlichen starren Kapsel bilden die Hüften, durch Vermittelung von *Nähten,* welche schmale Verdünnungsstreifen des Hautskelettes vorstellen, eine nachgiebige, in ihren Abschnitten bewegliche Kapsel, entsprechend der Wirkungsweise verschiedener weiterhin besprochener Muskel. Die vier, gewöhnlich vorkommenden Hüftabsehnitte sind ein basaler und drei endwärtige. Ich nenne dieselben nach ihrer Lage

*Basocoxit* (Abb. 1 und 4 $\gamma$)
*Mesocoxit* ($\beta$ + G)
*Exocoxit* ($\alpha$) und
*Endocoxit* ($\delta + \varepsilon$).

Von der mittleren Basis des inneren Endomerit und der äusseren des äusseren Endomerit ziehen Nähte schräg nach hinten und aussen, welche konvergieren und das dreieckige *Mesocoxit* G einschliessen, welches sich hauptsächlich am Grunde des äusseren Endomerit ausbreitet.

Von der inneren Gelenkecke zwischen Hüfte und Cardo zieht eine andere Naht schräg nach vorne und aussen, welche nicht weit vom Hinterende des Mesocoxit endigt. Durch sie und eine andere Schrägnaht, welche die innere Begrenzung des Mesocoxit fortsetzt, wird ein dreieckiges Stück begrenzt, das *Endocoxit,* welches nach innen an die Verbindungshaut mit den Kehlteilen stösst. Indem sich jene mittlere Naht noch weiter schräg nach hinten fortsetzt, bis zur äusseren Gelenkecke zwischen Hüfte und Cardo, wird am Grunde der Hüfte durch zwei Nähte ein *Basocoxit* abgegrenzt. Was weiter aussen noch übrig bleibt, ist ein auch als *Palpiger* bekanntes Hüftstück, welches übrigens nicht nur unten und aussen den äusseren Hüftteil bildet, sondern, im Gegensatz zu den drei anderen Stücken, auch beträchtlich auf die Oberseite herübergreift, wie in den von unten gesehenen Abb. 1 und 4 die punktierte Linie anzeigt.

Diese vier Hüftabschnitte habe ich bei *allen* untersuchten Dermapteren aufgefunden, nur betreffs *Hemimerus* ist zu bemerken, dass, wie Abb. 34

erkennen lässt, das Endocoxit auf Kosten des Basocoxit sich ausgedehnt hat, sodass letzteres nicht mehr deutlich ausgeprägt ist. Bei *Allosthetus* (Abb. 1), *Karschiella* (Abb. 4) u. a. beobachtete ich noch ein besonderes schmales Hüftstück $\beta$, welches wie eine Fortsetzung des Mesocoxit erscheint. Das Endocoxit ist bisweilen (Abb. 4) durch eine undeutliche Naht in zwei Abschnitte getrennt, einen *inneren* $\varepsilon$, der nur vorne hinter dem Gelenk des inneren Endomerit eine Porengruppe aufweist und einen *äusseren* $\delta$, der mit Tastborsten besetzt ist. Tastborsten sind in einer nach den Gattungen und vielleicht auch Arten verschiedenen Weise ausgebildet, finden sich aber in der Regel auf allen Hüftteilen, nur am *Mesocoxit* sind wenige oder gar keine zu bemerken, wogegen dieses wieder eine Porengruppe am Grunde aufweist, in der dem inneren Endomerit zugewendeten Ecke. (Gelenkdrüsenporen.) Das *Exocoxit* (Palpiger) greift mit seinem Vorderende um die Tasterbasis, doch ist dieselbe innen auch vom Mesocoxit begrenzt.

Die *Cardo* ist durchaus kein einfaches Stück, sondern zeigt sich bei *allen* Dermapteren deutlich genug als aus *zwei Teilen* zusammengesetzt, einem inneren und einem äusseren (Abb. 1, 4 und 37 ca 1, ca 2.) Die Abgrenzung derselben gegen einander geschieht sowohl durch eine äussere leichte Einschnürung als auch durch eine nach den Gattungen mehr oder weniger deutliche Naht (Abb. 1). Ausserdem erhebt sich gerade in der Richtung dieser *Naht* eine innere *Kante,* welche einem *endoskelettalen Cardolappen* angehört (L Abb. 1 und 4), der sich innen von beiden Cardoteilen erstreckt, der Länge nach mit ihnen verwachsen und schräg nach vorne und innen, in der Richtung jener Naht besonders stark vorspringend. Im folgenden sehen wir, dass an dem Cardolappen, im Bereich jedes Cardoteiles, ein kräftiger Muskel ausgebreitet ist. Die die beiden Cardoteile von einander absetzende Naht läuft gerade auf die Innenecke der Hüftbasis zu, wo mit dieser ein Gelenkknopf gebildet wird. Bei *Allosthetus* (Abb. 1) ist dieser Gelenkknopf besonders deutlich und man sieht, dass an ihm von Seiten der *Coxa* die Aussenecke des Basocoxit und die Grundecke des Endocoxit, von Seiten der *Cardo* aber die vordere Innenecke des äusseren und die Aussenecke des inneren Stückes beteiligt sind. Je nach der Deutlichkeit der Cardonaht und der Absetzung von Endo- und Basocoxit ist die Beteiligung dieser Abschnitte an jenem Gelenkknopf mehr oder weniger deutlich.

*Die Coxomerite* der *Maxillopoden* sind nach Gestalt und Funktion ausserordentlich verschieden. Während die *inneren Coxomerite*, durch ihre kräftigere Gestalt und die spitzen Endzähne sowie Borstenkämme (sc Abb. 1), im Verein mit einem deutlichen Basalgelenk, auf eine Beteiligung an dem Zerbeissen und Zerschneiden der Nahrung hinweisen und die grobe Arbeit der Mandibeln im Feineren fortsetzen, haben die *äusseren Coxomerite* die Aufgabe die beiden Tasterpaare im Betasten, Halten und Richten der Nahrungsteile zu unterstützen. Dem entspricht auch die verschiedene Gestalt der beiden Coxomerite. Die leicht sichelartig nach innen gebogenen *inneren Coxomerite* verschmälern sich allmählig vom Grunde gegen das Ende. Innen befinden sich *zwei* vorspringende Kanten, von denen jede auf einen der beiden kräftigen Endzähne loszieht (Abb. 3). Die grösseren Tastborsten stehen meist am Innenrande (Abb. 4), während der *Borstenkamm* sich kurz vor den Endzähnen befindet. Genau genommen handelt es sich um *zwei* Borstenkämme an den genannten beiden Kanten. Der untere Borstenkamm besteht aus spärlicheren und geraderen Tastborsten, während der obere (Abb. 3) nicht nur zahlreichere sondern auch kräftigere Borsten enthält, welche z. T. leicht S-förmig geschwungen sind (Abb. 3 unten). Auf die nicht gerade bedeutenden Verschiedenheiten in den Borstenkämmen der *Para-* und *Eudermaptera* näher einzugehen, ist hier unnötig. Am Grunde ruhen die inneren *Coxomerite* sowohl auf den *Endo-* als auch *Mesocoxiten* und bilden ein deutliches *Gelenk* mit diesen (Tafel I und Abb. 28 g), wobei ein feines dunkles *Gelenkknöpfchen* zu bemerken ist, was namentlich in einem kleinen Höckerchen des Mesocoxit zum Ausdruck kommt. In der Richtung hinter demselben bemerkt man auch eine lange Sehne (s Abb. 2 und 5), welche einem starken Muskel angehört, der noch weiter zu besprechen ist.

Die *äusseren Coxomerite* sind stärker als die inneren sichelartig gebogen und zugleich bleiben sie hinsichtlich ihrer Dicke gleichmässiger. Sie liegen meist auch den inneren Coxomeriten gegenüber etwas nach *oben* verschoben. Innen pflegen sie nackt, d. h. unbeborstet zu sein, während aussen eine mehr oder weniger spärliche Beborstung besonders in der Grundhälfte zu bemerken ist. Borstenkämme und Zähne fehlen vollständig. Das Ende ist vielmehr, gegenüber dem übrigen äusseren Coxomerit abgesetzt durch seine *häutige* Beschaffenheit. Auch ist dieser weiche, zum Betasten

besonders geeignete Endabschnitt mit äusserst feinen Papillen und Härchen besetzt. Am Grunde befindet sich ein noch zarterer Hautabschnitt und in demselben bei manchen Formen, z. B. *Apachyus* Abb. 28 *a*, eine deutliche Verdickung, welche ich *Basalspange* nenne. Dieselbe findet ein Widerlager in einem verdickten Knötchen, aussen am Grunde des Hauptteils der äusseren Coxomerite. Ein anderes Knötchen befindet sich an denselben innen endwärts vor dem häutigen Abschnitt (Abb. 2). Da am Grunde der *äusseren* Coxomerite kein bestimmt ausgeprägtes Gelenk besteht, wie an den inneren, so wird die basale Bewegung durch diese Basalspange vermittelt. Die *äusseren Coxomerite* sind mit ihrem lockeren häutigen Grunde dem Urzustand der Coxalorgane ähnlicher geblieben.

Die *Telopodite* oder *Taster* der Maxillopoden sind bei *allen Dermapteren*-Familien *fünfgliedrig*, oder wenn wir die Endzapfen mitrechnen wollen, *sechsgliedrig*. Auch die *Grössen-* und Gestaltsverhältnisse dieser Glieder zeigen sich innerhalb der *Dermapteren* sehr einheitlicher Natur, wovon auch *Hemimerus* keine wesentliche Ausnahme macht.

Es handelt sich stets um:

a) *zwei kleinere grundwärtige Glieder;*

b) *drei grössere, längliche* und untereinander annähernd gleich grosse Glieder;

c) *um einen sehr kleinen,* dem letzten grösseren Gliede aufsitzenden *Endzapfen* (ez Abb. 1, 2, 5 und 34).

Die fünf Hauptglieder, welche alle deutlich miteinander artikulieren, sind reichlich mit Tastborsten besetzt, welche an den beiden letzten länglichen Gliedern besonders dicht zu stehen pflegen. Die Telopoditglieder bezeichne ich in der Folge von grund- nach endwärts als *Trochanter, Praefemur, Femur, Tibia, Tarsus* und *Podotelson* und komme im folgenden auf die Begründung dieser Bezeichnung zurück. Das kleine *Podotelsonzäpfchen* sitzt in einer Haut auf dem Ende des Tarsus und kommt allen *Dermapteren*-Gruppen zu. Es ist von mehreren Porenkanälen durchsetzt (Abb. 50 mp) und besteht aus zwei Abschnitten, einem dickwandigen dunkelpigmentierten und längeren grundwärts und einem hell glasigen, weichen endwärts. An Letzterem bemerkt man eine äusserst feine Zellstruktur. Die stärksten *Podotelsons* beobachtete ich bei *Allosthetus,* wo ihre Länge der Breite des

Tarsus gleichkommt (Abb. 1), die schwächsten bei *Apachyus*, wo man überhaupt die zwei genannten Abschnitte nicht unterscheiden kann, da es sich dort nur um sehr kurze, mit einigen winzigen Poren versehene, fast halbkugelige Gebilde handelt. Die von *Pygidicrana* ähneln denen von *Allosthetus*, sind aber kürzer. (Vergl. auch das *Podotelson* der Labiopoden, Abb. 50 lp.)

Übergehend zur *Muskulatur der Maxillopoden* betrachten wir zunächst die Hüften. Zwei starke *Tentoriummuskeln* ziehen vom Tentorium an die Maxillenhüften und zwar ein sehr breiter vorderer und ein schmaler aber längerer, hinterer. Der *vordere Tentoriummuskel* ist nach aussen zu mit seinen Anheftungsstellen dreieckig abgestuft (ttm 2 Abb. 2, 5 und 34), weil er nicht über das dreieckige *Endocoxit* hinausgreift. Der *hintere Tentoriummuskel* dagegen (ttm 1 Abb. 5) streicht über das Endocoxit weg und befestigt sich in der Aussenecke des Basocoxit. Die Naht innen zwischen Endo- und Basocoxit ist für zwei weitere Muskeln von Bedeutung, nämlich den Muskel des äusseren Coxomerit (em Abb. 5 und 34) und den an den äusseren Trochantergrund ziehenden Telopodit-Extensor tem. Beide sind schräg vor dieser Naht befestigt. Einen am Exocoxit befestigten Telopodit-Flexor (tem 1 Abb. 34) habe ich mit Sicherheit nur bei *Hemimerus* gefunden. Sehr stark ist der *Muskel* des *inneren Coxomerit,* (in) dessen Sehnen schon oben erwähnt wurde. Er breitet sich mit seinen zahlreichen Fasern in der Hinterhälfte des Exocoxit und am Grunde des Basocoxit aus. Die Sehne greift am inneren Grunde des inneren Coxomerit an und lässt dieses beissend sich nach innen bewegen. Ähnlich liegt die Sache beim äusseren Coxomerit. Die Rückbewegung Beider geschieht teils federnd elastisch, teils durch die Mitwirkung des Telopoditextensors, da das Telopodit am Grunde hart an das äussere Coxomerit stösst.

Zwischen Cardo und Hüften besteht auch bei *Dermapteren* keine Muskelverbindung. Die beiden Abschnitte der Cardo dagegen werden durch je einen kräftigen, vom *Tentorium* kommenden Muskel bedient, welche sich an dem oben beschriebenen Cardolappen und der Cardo selbst ausbreiten (Abb. 5 und 37 cam). Die Maxillopoden werden mittelst der Muskeln zwischen Tentorium und Hüfte um die Cardo gedreht, Maxillopoden und Cardo zusammen aber durch die Cardomuskeln um das oben beschriebene Gelenk zwischen Cardo und hinterer Tentoriumbasis (g Abb. 37). Der Fortsatz des

Cardolappens wird von einer Sehne angegriffen s 1 Abb. 5, welche zu einem oben seitwärts an den Leisten des Hinterhauptloches befestigten Muskel gehört (camhk Abb. 7). Derselbe vermag die Cardo noch oben zu drehen.

In den *Telopoditen* gibt es *vier* muskelführende Glieder und zwar *direkte* Muskeln im 1. 3. und 4. Gliede und einen *Brückenmuskel* innerhalb des 1. und 2. Gliedes. Im zweiten Gliede fand ich keine direkten Muskeln, was mit dem Umstande harmoniert, dass das zweite Glied stets deutlich kleiner ist als das 1. Gleichwohl geht aus dem Gesagten hervor, dass am Grunde jedes Telopoditgliedes sich ein Extensor befestigt, ein Flexor am Grunde der als Tibia und Tarsus bezeichneten Glieder. Das Vorhandensein von *vier hintereinander liegenden Segmenten muskelführender Glieder endwärts hinter der Coxa* und einem muskellosen Maxillopodenendglied gestattet uns, zurückgreifend auf die jetzt ziemlich gut bekannten Bauverhältnisse der Laufbeine der *Chilopoden* und *Insekten* eine vollkommen sichere Deutung vorzunehmen, d. h. eine Zurückführung dieser auf jene Glieder. Da ich mich über diese Verhältnisse auch in einer *Embiiden*-Arbeit ausgesprochen habe, so verweise ich darauf.[1])

Die Verhältnisse der Maxillopodentaster der *Dermapteren* sind verhältlich leicht zu erklären und zwar schon ohne Berücksichtigung der Muskeln. Die Grösse, Lage und Gestalt der drei grossen endwärtigen Telopoditglieder schliesst sich ohne weiteres so sehr an die Beschaffenheit von Femur, Tibia und Tarsus bei zahlreichen Insekten-*Beinen* an, dass an einer Homodynamie dieser Glieder nicht zu zweifeln ist, d. h. dass es sich bei den länglichen Tastergliedern ebenfalls um *Femur, Tibia* und *Tarsus* handelt. Dann bleiben aber *zwischen Femur und Coxa zwei typische, scharf ausgeprägte Glieder übrig,* welche den *Einwänden,* welche gegen meine *Trochanter-Praefemur*-Theorie gemacht wurden, *jeden Boden entziehen,* d. h. wir stellen fest, *dass an den Maxillopoden* der *Dermapteren* und zahlreicher *anderer Insekten,* von denen später verschiedene noch behandelt werden sollen, die von mir für *Libellen* und einige andere Insekten nachgewiesenen[2]) beiden

[1]) Zur vergleichenden Morphologie und Systematik der Embiiden, Nova Acta d. kais. Akad. d. Naturforscher, Halle 1904.

[2]) Vergleiche meine Arbeiten über Tracheaten-Beine, namentlich den 4. und 5. Aufsatz in den Nova Acta d. kais. Akad. d. Nat. in Halle, 1903 Bd. LXXXI Nr. 4, S. 211—249, nebst 4 Tafeln.

Beinglieder *Trochanter* und *Praefemur nicht nur eine ganz gewöhnliche Erscheinung sind, sondern dass sie hier noch in ursprünglicherer, d. h. schärfer ausgeprägter Weise auftreten.* Die zu beobachtenden Verschiedenheiten zwischen Trochanter und Praefemur an den Tastern und an den Beinen der Insekten erklären sich aus den verschiedenen Funktionen hier und dort, welche es mit sich brachten, dass *an den Beinen* der Trochanter immer mehr zurückging, das Praefemur dagegen meist eine kräftige Entwickelung bewahrte, *während umgekehrt an den Telopoditen der Maxillen das Praefemur klein wurde und der Trochanter sich mehr und mehr kräftig entwickelte.*

Betrachten wir schliesslich die *Muskulatur,* so zeigt sich, dass sie bei der eben gegebenen Gliederdeutung der Maxillentaster mit meinem für Laufbeine gültigen Muskelhomologiegesetz in Einklang steht, soweit entsprechende Muskeln vorkommen. Von den bei den Laufbeinen so wichtigen Krallenmuskeln muss hier vollständig abgesehen werden. weil solche bei den Maxillentastern der Insekten ebenso wenig bekannt wurden als typische Krallen. Deshalb ist es von Wichtigkeit die in den Nova Acta, Halle 1903 auf S. 131 aufgestellten fünf Paragraphen *des Muskelhomologiegesetz* durch einen Satz zu ergänzen, welcher dort noch nicht ausdrücklich ausgeführt wurde, aber seinem Inhalte nach bereits durch die dortigen Abbildungen 15 und 16 angegeben ist, er lautet:

*In dem Telopodit der Laufbeine der Opisthogoneata gibt es höchstens vier Segmente direkter Muskeln hintereinander und auch höchstens vier Glieder welche Brückenmuskeln enthalten, also überhaupt vier Wandmuskeln führende Glieder. Der Tarsus enthält weder direkte, noch Brückenmuskeln, also überhaupt niemals Wandmuskeln.*

Durch eine *ganz scharfe Umschreibung* des *Tarsusbegriffes* der Tracheaten glaube ich zahlreichen irrtümlichen Auffassungen desselben ein Ende bereitet zu haben.

Kürzlich hat Börner in einem Aufsatze „zur Klärung der Beingliederung der *Ateloceraten*“ [1]) darauf hingewiesen, dass bei einigen *Chilopoden* auch im Endglied der Beine ein kleiner Krallenmuskel vorkommen kann. Ich hatte denselben bereits an den Epimorpha-Beinen gefunden, aber anders aufgefasst.

---

[1]) N. 7/8 von Bd. XXVII des zoolog. Anzeigers 1904, S. 226—243.

Es ist erfreulich, dass Börner auf die genannte Tatsache hingewiesen hat, aber er ist im Irrtum, wenn er meint deshalb mein Muskelhomologiegesetz umstossen zu können. Richtig ist nur das, dass in meinem § 1 der Passus „enthält niemals Muskeln“ zu verbessern ist in — *enthält niemals direkte und auch keine Brückenmuskeln, Krallenmuskeln nur selten.* Würde ich den eben aufgestellten Ergänzungssatz schon 1903 ausdrücklich hervorgehoben haben, so dürfte auch Börner mit seinem letzten Angriff des „Entlarvens“ vorsichtiger gewesen sein. Es zeigt sich auch hier wieder, dass es, wie ich schon 1903 erklärte, richtiger ist die *gegenseitigen Lagebeziehungen der Muskeln* zu betonen, als aus einem vereinzelten Muskel grosse Schlüsse zu ziehen. Aus dem Befunde Börners folgt, dass die von mir für die Endbeine der *Epimorpha* aufgestellte *Praetibia* unnötig ist und dass allerdings an den betr. Endbeinen ein zweigliedriger *Tarsus* vorliegt. Meine Praetibia ist also Tibia und das als Tibia bezeichnete Glied mit dem ungewöhnlichen Krallenmuskel nenne ich *Myotarsus*. Das Fehlen von direkten Muskeln in demselben, während ein solcher in dem vorhergehenden Gliede vorkommt (vergl. im 4. Aufsatz über Tracheaten-Beine Abb. 14 ms 2), ist mir allerdings schon damals auffällig gewesen. Gerade diese Verhältnisse zeigen übrigens aufs Deutlichste die *Richtigkeit meines Tarsusbegriffes*. Börner benutzt nach wie vor einen unrichtigen, *gemischten Tarsusbegriff*, worüber ich mich in anderen Aufsätzen bereits genügend ausgesprochen habe. So zeichnet er a. a. O. wieder zwei Beine (Fig. 1, S. 230) von *Orya barbarica* und bezeichnet die Tibia fälschlich mit „Ta 1“. Die von Börner selbst angegebenen Wandmuskeln bezeugen das. Die 1903 von mir erörterte *Gliederhomologie zwischen den Laufbeinen der Chilopoden und Hexapoden ist die allein mögliche und richtige* und alle Bekämpfungen derselben haben lediglich den Erfolg gehabt, schliesslich diese Richtigkeit *im Wesentlichen zu bestätigen.*

Zurückkehrend zu den Maxillopoden, denen Krallen und Krallenmuskeln fehlen, gibt uns das durch obigen Satz ergänzte *Muskelhomologiegesetz* die völlige Bestätigung der oben gegebenen Gliedererklärung nach den Gestalt- und Lageverhältnissen, auch nach der Muskelbeschaffenheit, denn die Maxillentaster der *Dermapteren* enthalten, wie beschrieben, *vier* Wandmuskeln führende Glieder hintereinander,

*Trochanter, Praefemur, Femur* und *Tibia,*

auf welche dann in typischer Weise der ganz muskellose *Tarsus* folgt. Das Endzäpfchen am Tarsusende fasse ich auf als ein durch den Wegfall der Krallenmuskeln umgemodeltes, weil einem Funktionswechsel unterworfenes *Ungulum*, das hier also mit Recht die noch allgemeinere Bezeichnung *Podotelson* führen kann. (Nova Acta 1903.)

Hinsichtlich des oben erwähnten *Myotarsus* der *Epimorpha* bemerke ich noch, dass die Unterscheidung von *myotischen* und *amyotischen* Gliedmassenabschnitten dadurch keineswegs hinfällig wird, zumal ein solcher Myotarsus von Insekten *niemals* bekannt geworden ist und sein Auftreten selbst bei *Chilopoden* mehr den Charakter der Ausnahme trägt. Der von mir für *Epimorpha*-Beine nachgewiesene, von einem muskellosen *Tarsus* (Eutarsus) abgegliederte *Myotarsus* ist zu unterscheiden von dem einheitlichen, einen Krallenmuskel führenden Tarsus, den Börner entdeckte und der zum Unterschiede als *Eumyotarsus* bezeichnet werden kann:

*Tarsalia* { *Tarsus* / *Eutarsus* } *ohne alle Muskeln* } *Niemals direkte oder Brückenmuskeln enthaltend.*
*Tarsalia* { *Myotarsus* / *Eumyotarsus* } *mit einem Krallenmuskel* } *Niemals direkte oder Brückenmuskeln enthaltend.*

Wollte man also wegen des Myo- und Eumyotarsus auf die Unterscheidung myotischer und amyotischer Glieder verzichten, so müssten zahllose andere menschliche Begriffe, bei denen noch viel umfangreichere Ausnahmen in Betracht kommen, ausgeschieden werden. Ferner ist zu bedenken, dass man für diesen Gegensatz in Bezug auf die *Wandmuskeln* (direkte und indirekte) überhaupt *keine* Ausnahme kennt!

Reduktionserscheinungen lassen sich durch den Vergleich mit verwandten nicht reduzierten Fällen, wenn solche vorhanden sind, stets sicher enträtseln.

## 6. Die Labiopoden.

Die Unterlippenbeine oder Labiopoden werden von den im nächsten Abschnitt zu besprechenden Kehlteilen (Mentum und Submentum), durch eine verhältlich breite Haut, die *Praementalhaut* (H Abb. 8) getrennt, deren physiologische Bedeutung darin besteht eine Vor- und Rückwärtsbewegung der Labiopoden zu gestatten, während die Kehlteile beinahe fest an die

Kopfkapsel gedrückt werden, also jene Bewegung nicht mitmachen, wie man sich durch Beobachtung der tätigen Mundwerkzeuge lebender *Dermapteren* unmittelbar leicht überzeugen kann.

Die *Hüften* der Labiopoden sind denen der Maxillopoden sehr unähnlich und dennoch stimmen sie im Grundzuge ihrer Gestalt mit ihnen nahezu überein, indem sie unten eine vollständige Wandung besitzen, oben aber nicht. Die Wandung krümmt sich über die Seite hinaus zwar nach oben, läuft aber dann nicht ganz herum, wie bei einem geschlossenen Cylinder, sondern hört oben annähernd in der Mitte auf (in Abb. 38 ist das z. B. durch eine punktierte Linie angezeigt, in Abb. 8 durch dunkle Streifen), indem weiterhin eine zarte Haut folgt, welche diese Hüften mit dem Hypopharynx verbindet. Es handelt sich also auch hier um offene, d. h. unvollständige Zylinder. Während die Maxillopodenhüften ihre Hauptlängenerstreckung von vorne nach hinten aufweisen, sind die Labiopodenhüften im Gegenteil in die Quere gestreckt. Auch finden wir bei Letzteren nichts von den bei den Ersteren beschriebenen getrennten Hüftabschnitten. Wir können aber leicht feststellen, dass der seitliche, nach oben herumgreifende Hüftteil dem Exocoxit vergleichbar ist, zumal ihm endwärts ebenfalls der Taster aufsitzt. Total abweichend von den Maxillen aber verhalten sich diese Labiopodenhüften hinsichtlich ihrer gegenseitigen *Lage*. Dort weit und vollkommen getrennt, sind sie hier einander bis zur Berührung genähert, ja am Grunde sind sie innen sogar ein wenig verwachsen, allerdings nicht direkt, sondern durch Vermittelung eines noch weiterhin zu besprechenden Gebildes. Auf den Hüften sitzen aussen die Telopodite und innen *Coxomerite*. Während wir an den Maxillopoden aber jederseits zwei Coxomerite beschrieben haben, kommt deren auf den Hüften der Unterlippenfüsse nur eines vor und ausserdem findet sich bei allen erwachsenen *Dermapteren*, mit Ausnahme von *Hemimerus*, zwischen Hüfte und Coxomerit ein besonderes Sklerit eingeschaltet (Abb. 8 tco von *Allosthetus*), welches sich durch die weiterhin besprochenen Coxomerit-Muskeln als ein von der Hüfte *abgeschnürtes Stück* dieser zu erkennen gibt und welches bei jungen *Forficula*-Larven (Abb. 7) auch noch nicht zu sehen ist. Ich nenne es *Telocoxit* und bemerke noch, dass sich z. B. bei *Allosthetus* zwischen Coxomerit und Telocoxit die Gelenkhöckerchen k befinden, Zwischenhaut aber an beiden Grenzen des Telocoxit. Das *Telocoxit*

ist, wenn wir die Maxillopodenhüften zum Vergleich heranziehen, homodynam *Mesocoxit* + *Endocoxit*.

Das *Coxomerit* der *Unterlippenfüsse ist nämlich homodynam beiden Coxomeriten der Maxillopoden zusammen.*

Der *negative* Beweis hierfür liegt in dem gänzlichen Fehlen eines zweiten Coxomeritpaares, der *positive* in dem *Bau* dieser einzigen Coxomerite.

Dieselben lassen nämlich zwei, allerdings nur auf der Oberseite gegeneinander abgesetzte Abschnitte erkennen (Abb. 8 x), indem der äussere wulstig gegen den inneren absticht. Namentlich aber ist der *innere* Abschnitt durch einem *Borstenkamm* sc ausgezeichnet, wie ihn das *innere* Coxomerit der Maxillopoden besitzt und der äussere durch ein häutig-*blasiges Endstück*, wie es dem *äusseren* Coxomerit jener zukommt. Erinnere ich nun noch an Fälle, wie den durch *Embia* dargestellten, wo durch einen kleinen inneren Fortsatz (vergl. meine Embiiden-Arbeit 1904) der erste Schritt eines sich abspaltenden inneren Coxomerites angezeigt wird, so dürfte, im Hinblick auf die vielen einfachen, inneren Coxalorgane bei *Myriapoden* und *Thysanuren*, der Gedanke nicht abzuweisen sein, dass in diesen einheitlichen Unterlippen-Coxomeriten ein *ursprünglicher Zustand* erhalten geblieben ist.

Dem einheitlichen Coxomerit entspricht auch das geschilderte, einheitliche Telocoxit.

Die *Taster* der Labiopoden sind bei den *Dermapteren* stets *drei*gliedrig (oder wenn wir das Podotelson mitrechnen wollen, viergliedrig), wobei stets zunächst ein kurzes und dahinter zwei lange Glieder angetroffen werden. Vergleichen wir diese Telopodite mit denen der Maxilloden, so ermöglicht sich ihre Deutung und zugleich wird ihre im Verhältniss zu jenen kümmerlichere Entwickelung ersichtlich. Offenbar ist sowohl ein kleineres als auch ein grösseres Glied verkümmert. Das grundwärtige kleine Glied kann sein entweder Trochanter oder Praefemur oder Trochanterpraefemur. Von den beiden längeren Gliedern ist das grundwärtige ein Schenkel (Abb. 8 fe), während im endwärtigen ein Verwachsungsprodukt von Tibia und Tarsus vorliegt, ein Tibiotarsus. Auf die Begründung dieser Auslegung kann erst später zurückgekommen werden. Alle drei Telopoditglieder sind mit Tastborsten verschiedener Stärke besetzt, besonders reichlich aber das 3. (letzte) Glied. Das *Podotelson* ist im Allgemeinen (Abb. 8) dem der Maxillopoden

höchst ähnlich, unterscheidet sich von jenem aber auffällig genug durch den helleren Endteil, indem statt der Poren sich am Ende eine Gruppe von mehreren spitzen Stiftchen vorfindet (Abb. 50 lp), welche diademartig auseinandergespreizt sind. Es wurde schon erwähnt, dass die Hüften der Labiopoden am inneren Grunde hart aneinanderstossen. An diesem Punkte findet durch Vermittelung eines *Doppelknotens* (fla Abb. 18) der sich jederseits in die Hüften als dunkler Zapfen erstreckt, eine *Verbindung* zwischen den beiden Hüften hergestellt, die aber trotzdem ihre *Bewegung gegeneinander nicht aufhebt.* Vom Mentum her kommen nämlich jederseits zwei coxobasale Muskeln (ecom und icom Abb. 7, 14, 18 und 38), welche sowohl als Adduktoren und Extensoren die Hüften zusammen und auseinander zu biegen als auch *gemeinsam* die Rückwärtsbewegung beider Labiopoden zu bewirken vermögen. Die äusseren coxobasalen Muskeln befestigen sich an einem äusseren Basalzapfen der Hüften (Abb. 18), die inneren an den beiden Zapfen des beschriebenen *Doppelknotens.* Nach vorne gehen von diesen bei den erwachsenen *Forficula zwei* divergierende Muskeln ab (Abb. 18 coami und coame, auf Abb. 38 bei *Hemimerus*), welche das Coxomerit sowohl gemeinsam bewegen können, als auch abwechselnd als Adduktor und Extensor. Diese beiden Muskeln entsprechen den Muskeln der beiden Coxomerite der Maxillopoden und stimmen daher ebenfalls mit meiner Erklärung der Doppelnatur der Labiopoden-Coxomerite. Bei jungen *Forficula*-Larven fand ich diese beiden Muskeln noch vereint (Abb. 7 coam) entsprechend dem noch fehlenden Telocoxit.

An den *Telopoditen* der Labiopoden habe ich folgende Muskeln beobachtet: Vom inneren Rande (x x Abb. 18) des oberen Hüftteiles geht ein direkter Extensor an die äussere Basis des ersten Telopoditgliedes, weiter vorne von demselben Rande ein Brückenmuskel ebenfalls als Extensor an den äusseren basalen Zapfen des zweiten Telopoditgliedes. An denselben Zapfen heftet sich ein direkter Muskel des 1. Telopoditgliedes. Ausserdem beobachtete ich noch direkte Muskeln im zweiten Telopoditgliede (Femur), nämlich entweder nur einen Flexor oder Flexor und Extensor zugleich (Abb. 14). Bedenken wir, dass schon an den Maxillopoden der *Dermapteren* das Praefemur im Vergleich zum Trochanter bisweilen klein geworden ist, nämlich bei *Karschiella* (Abb. 4) und *Hemimerus* (Abb. 34), so liegt die

Annahme nahe, dass an den *Labiopoden* das Praefemur (im direkten Gegensatze zu vielen *Beinen*), vollständig rückgebildet wurde. [Bei *Hemimerus* ist das Praefemur der Maxillopoden bereits muskellos.]

Die eigentümliche *Verbindung* der Labiopoden (vergl. auch Abb. 14) mit den oberhalb gelegenen Gebilden verursachte die schon geschilderte Gestalt der unvollständig geschlossenen Hüftzylinder. Die Coxomerite dagegen sind bei den *Holodermapteren* allseitig geschlossen (Abb. 8) und nicht mit der Haut verwachsen, welche Labiopoden und Hypopharynx verbindet. (*Epilabialhaut.*) Die Telocoxite dagegen sind oben häutiger Natur und von ihrem Grunde bis zum unteren des Hypopharynx senkt sich *taschenartig* die *Epilabialhaut* ein. In der Tiefe dieser Tasche münden mit einem unpaaren Endabschnitt des Ausführungsganges die Speicheldrüsen. Die Intima dieses Ganges besitzt starke Verdickungsriefen, welche z. T. die Gestalt eines Spiralfadens annehmen, wie bei den Tracheen (Abb. 8 spd). Oben habe ich schon einen *Doppelknoten* (Nodulus duplex) erwähnt, durch welchen die Labiopodenhüften am Grunde zusammengeknüpft sind. In Abb. 51 sehen wir, dass bei *Allosthetus* dieser Doppelknoten ckn nach vorne jederseits (punktierte Linien) an die Hüften, neben der Mediane (med) angeschweisst ist, hinten an seiner dunkelsten Stelle aber die mediane Verwachsung aufweist. *Oberhalb* des Doppelknotens gibt es noch andere eigentümliche Gebilde, welche durch die Abb. 8 und 51 von *Allosthetus* veranschaulicht werden. Es handelt sich um endoskelettale, paarige Teile, welche sich nach oben in der Mediane an den Doppelknoten anschliessen, aber im Übrigen von ihm getrennt sind. Dabei ist ein länglicher *Zapfen* (fl az), welcher vorne angeschwollen ist und nach hinten sich verschmälert von zwei seitlichen *Lappen* zu unterscheiden (fl a). Beide Gebilde aber gehören zusammen, da sie die gleiche Ansatzstelle haben, oberhalb des Nodulus duplex und der inneren Coxenbasis und da auch der Zapfen durch eine innere Naht y sich als ursprünglich ebenfalls zweiteilig zu erkennen gibt. Der hintere Stiel des Zapfens erstreckt sich gegen die Mündungsstelle a der Speicheldrüsen und dient dieser offenbar als Stütze und Schutz, wobei auch noch zwei bräunliche, seitliche Blättchen cn mithelfen.

Auch bei *Hemimerus* konnte ich ein paariges, aber in der Mediane verwachsenes, endoskelettales Stück innen oberhalb der Labiopodenhüften

nachweisen (Abb. 32 fla). Sehr wichtig ist das Vorkommen eines *Muskels,* welcher jederseits zwischen diesen Innenteilen und dem oberen inneren Hüftrande ausgespannt ist (Abb. 32 flam).

Ein *Vergleich* zwischen Maxillopoden und Labiopoden zeigt uns, dass von den bei ersteren beschriebenen *Cardo*-Teilen bei den letzteren keine Spur zu finden ist. An den Labiopoden der Dermapteren gibt es keine Gebilde, welche den Cardines irgendwie vergleichbar wären, ein Umstand, der sich aus der wesentlich anderen Funktion und Lage der Labiopoden erklärt. Wir sehen aber auch, dass die Hüften der Unterlippenfüsse mit dem Tentorium durch keine Muskeln verbunden sind.

Da nun die eben geschilderten Teile oberhalb der Labiopodenhüften in zwei wichtigen Merkmalen, nämlich

1. der völlig endoskelettalen Lage und
2. der muskulösen Verbindung mit Hüften eine Übereinstimmung mit dem *Tentorium* zeigen, so fragt es sich, ob sie nicht mit diesem in einem gewissen Sinne vergleichbar sind.

Dies führt mich auf *das segmentale Vorkommen von Furkula-Bildungen,* d. h. *paarigen, endoskelettalen* Muskeln zum Ansatz dienenden Balken oder Platten oder Rippen, lateroventraler Lage, nahe der Basis der Hüften, welche ursprünglich *getrennt* auftreten, sich sekundär aber mehr oder weniger *vereinigen* können, als Hauteinstülpungen entstehen und diesen Charakter bisweilen — z. B. an Meso- und Metathorax von *Embia* — selbst noch bei erwachsenen Insekten bewahrt haben.

Dass solcher Bildungen am Thorax der *Japygiden* in Gestalt der *Costae furcillatae vier* vorkommen, nämlich an Mikro-, Pro-, Meso- und Metathorax, habe ich im Archiv f. Nat. 1904 bewiesen. In meiner Arbeit „über den Thorax der Insekten“ (Nova Acta 1902) habe ich auch für den *Dermapteren*-Thorax die drei gewöhnlichen Furkulae nachgewiesen, denen die Nackenbalken des Mikrothorax, welche allen *Holodermaptera* zukommen ebenfalls homodynam erachtet werden können, nachdem Entsprechendes für die *Japygiden* feststeht. Die oben geschilderte muskulöse Verbindung zwischen der Tentorium-Hinterhälfte und den Maxillopodenhüften weist uns unmittelbar auf den Vergleich zwischen *Tentorium* und *Thorax-Furkulae.* Vergegenwärtigen wir uns die im Vergleiche zum Rumpfe ausserordentlich

sonst den Borstenkamm ausmachen, auffallend auseinandergetrieben sind, starke *Verschmelzung* der die Kopfkapsel bildenden Segmente, so ist eine innigere *Verwachsung* auch der Teile des Endoskelettes eine notwendige Folge. Die oben geschilderten Nähte und Arme des Tentorium bezeugen dies noch ausserdem. Somit ergibt sich der Schluss, dass wir in den Teilen des *Hintergebietes* des Tentorium, deren Verschmelzung durch die Nähte (Abb. 24) angezeigt wird, die *Furkulae des Maxillopodensegmentes* vor uns haben, in den Vorderteilen des Tentoriums aber (mit Ausnahme der antennalen Äste) *die Furkulae des Mandibularsegmentes.* Es ist nun durchaus naturgemäss, die *Furkulae des Labiopodensegmentes ausserhalb der Kopfkapsel zu suchen,* nachdem die *Labiopoden* selbst eine *lose* Stellung an der Unterfläche des Kopfes eingenommen haben. In der Tat zeigen die vorne beschriebenen Gebilde oberhalb der Labiopodenhüften eine Beschaffenheit, wie wir sie von solchen Furkulae zu erwarten haben, weshalb ich die Teile der Abb. 51 fla, flaz, g auch als *Labialfurkulae* bezeichne. Die Seitenlappen fla der Labialfurkulae haben hinten einen etwas verdickten Rand und sind medianwärts mit dem Hüftdoppelknoten verbunden.

## 7. Maxillopoden und Labiopoden von Hemimerus.

In den Abschnitten 5 und 6 ist bereits verschiedentlich darauf hingewiesen worden, dass die beiden Unterkieferpaare von *Hemimerus* in zahlreichen Punkten sich an die der *Holometabola* anschliessen. Hier muss aber noch näher auf dieselben eingegangen werden.

Die *Maxillopoden* von *Hemimerus* stimmen in den Grundzügen ihres Baues mit denen der *Holometabola überein,* insbesondere in den zweiteiligen Cardines, den durch ähnliche Nähte in mehrere Abschnitte abgesetzten Hüften, der Beschaffenheit der Coxomerite, der Gliederung der Telopodite und der Anordnung der Muskulatur in Cardo und Hüfte.

Die Hüftnähte weichen aber in sofern ab als die schräge Naht zwischen Endo- und Basocoxit weiter nach hinten liegt und das Basocoxit schwach entwickelt und vom Exocoxit überhaupt nicht abgesetzt ist. Die ganzen Maxillopoden sind auffallend gedrungen, was sich besonders in den kurzen Coxomeriten bemerklich macht. Die inneren Coxomerite (Abb. 34 comi) sind etwas aufgebläht, wodurch die beiden Reihen von Stacheln, welche

die Stacheln sind ausserdem auffallend stark hakig nach innen umgebogen (Abb. 35) und statt der bekannten zwei grossen Zähne finden sich vier kleine. Zwischen diesen Hakenstacheln und Zähnchen befindet sich eine Grube, die geeignet erscheint, gewölbte Körper von bestimmter Grösse, wie etwa Säugetierhaare, aufzunehmen. Noch auffallender ist die gedrungene Gestalt der äusseren Coxomerite, deren papillöses, blasiges Feld merkwürdig gross erscheint, am Grunde ist aueh eine Basalspange ersichtlich. An den mit einem deutlichen Podotelson endenden Telopoditen fällt sofort ihre im Verhältnis zu den *Holodermaptera* steif nach aussen und hinten gerichtete Haltung auf, welche namentlich darin zum Ausdruck kommt, dass die übrigens nicht besonders langen Glieder Femur, Tibia und Tarsus nahezu in einer Richtung hintereinander liegen, während sie bei den *Holodermaptera* mit Knickungen unter stumpfen bis spitzen Winkeln nach innen gerichtet zu werden pflegen. Diese Haltung der Maxillopodenpalpen entspricht einer ähnlichen Haltung der Antennen und erklärt sich aus der Lebensweise dieser Tiere, welche beim Schlüpfen zwischen den Haaren ihrer Träger durch seitwärts oder gar nach vorne abstehende Anhänge behindert sein würden. Die *Beborstung* beider Palpenpaare ist auffallend spärlich und die Muskulatur schwächer als bei den *Holodermaptera,* indem an den Palpen der Maxillopoden nur direkte Muskeln vorkommen und zwar ein Extensor im Trochanter und je ein Flexor im Femur und der Tibia. Im Verhältnis zu den übrigen Telopoditgliedern ist der Trochanter stark ausgebildet.

*Die Labiopoden von Hemimerus* (Abb. 38) harmonieren in ihrer Gedrungenheit mit den Maxillopoden. Im Fehlen der Telocoxite zeigen sie einen an *Forficuliden*-Larven erinnernden Charakter. Die Coxomerite sind kaum länger als breit, besitzen keinen Borstenkamm und überhaupt nur spärliche Borsten, sitzen aber den Hüften so breit auf, dass die Telopodite mehr als sonst nach aussen gedrängt sind. Dass die Gestalt der Hüften dem *Dermapteren*-Typus entspricht und auch Furculae labiales darüber stehen, wurde schon oben erwähnt. Die Furculae labiales (Abb. 32) sind auch hier verwachsen und haben eine x-förmige Gestalt, wobei die vorderen Äste länger sind als die hinteren. In den Tastern (Abb. 38) fand ich ausser dem aus der Coxa kommenden Brückenmuskel nur einen kleinen, direkten Flexor im Femur.

## 8. Kehlteile und Hinterhauptverbindung
(Mentum, Submentum und Mikrothorax).

Das Mentum wird, wie schon geschildert, durch eine breite *Prämentalhaut* (H Abb. 8) von den Labiopoden getrennt. Es ist eine annähernd quadratische bis quer trapezische (Abb. 38), an den Seiten zugerundete Platte, welche nicht nur durch Grösse und Stärke auffällt, sondern auch durch ihre Beborstung, indem sie ausser kleineren Borsten verschiedener Grösse auch eine Anzahl nach Gattungen und Arten oft verschiedenartig angeordneter *Grossborsten* aufweist. Die Seitenränder treten namentlich in der Hinterhälfte mit wulstigen Kanten ins Körperinnere vor und diese Kanten enden hinten mit zwei starken, etwas nach innen gerichteten *Zapfen* (y Abb. 8), welche den äusseren Coxalmuskeln (ecom Abb. 14) zum Ansatz dienen. Die Ansatzstellen der inneren Coxalmuskeln befinden sich ebenfalls am Mentum und zwar weiter nach innen zu, bald mehr vorne, bald mehr nach hinten gelegen. Die Befestigung der die Labiopodenhüften bewegenden Muskeln beweist ebenso wie Beschaffenheit und Lage des *Mentum*, dass dieses das *Sternit des Labiopodensegmentes* ist, worüber ich mich auch bereits in meiner *Japygiden*-[1]) und *Embiiden*-Arbeit[2]) ausgesprochen habe.

Das *Submentum* (sme Abb. 6, 7, 8, 15 und 25) ist stets beinahe so breit wie das Mentum, aber bedeutend kürzer, höchstens ein Drittel so lang wie jenes, übrigens mit verschiedenen Tastborsten besetzt, unter denen sich oft auch einige Grossborsten befinden. Es ist immer vermittelst einer ganz schmalen Zwischenhaut von dem Mentum nicht nur scharf getrennt, sondern auch dagegen verschiebbar. Niemals ist es durch Muskeln mit den Labiopoden verknüpft. Die Grenze zwischen Mentum und Submentum ist wenig gebogen, viel mehr der Hinterrand des Submentum, an welchem sich eine (Abb. 15) oder auch zwei (Abb. 8) Einbuchtungen vorfinden, je nachdem der mittlere Teil vorgezogen ist oder nicht. Stets bemerkt man also am Submentum zwei seitliche Hinterrandlappen und an diese schliesst sich, durch eine kleine Zwischenhaut getrennt, jederseits noch ein kleines längliches Sklerit

[1]) Archiv für Naturgesch. 1904.
[2]) Nova Acta Halle 1904.

an (lpme Abb. 8, 15 und 30), welches entweder, wie bei *Allosthetus* nur den Charakter eines Chitinbandes trägt und keine Borsten besitzt oder, wie bei *Karschiella* (Abb. 6 und 30) sowohl aus einem kleinen mit Borsten besetzten Plättchen, als auch einem endoskelettalen Bälkchen besteht. Dieses Skleritenpaar, welches ich als *Postmentalstücke* bezeichne, *verbindet das Submentum mit den lateralen Wülsten oder Leisten der Hinterhauptöffnung* (Abb. 15).

Im Abschnitt über die Kopfkapsel wurde schon darauf hingewiesen, dass bei *Dermapteren* das Hinterhauptloch unten offen ist, oben und seitwärts aber von Leisten umgeben wird. An den Leisten gibt es zwei wichtige Auszeichnungen, nämlich seitlich ungefähr in der Mitte ein Paar *mikrothorakale* Gelenke und an den unteren Enden ein Paar *Kehlgelenke* (Submentalgelenke).

Die *mikrothorakalen Gelenke* bestehen darin, dass *die Vorderenden jener* (wahrscheinlich den Furkulae homodynamen) *Apodemen* des *Mikrothorax* (mib Abb. 7, 26 und 30), welche ich bereits 1902 in meiner Arbeit „über den Thorax der Insekten“ erwähnt habe (und auf welche ich in einer anderen Arbeit wieder zurückkomme), durch ein weiches Band, welches leicht drehbar und zähe zugleich sein muss, mit *lateralen Hinterhauptzapfen* verbunden werden, die z. B. bei *Forficula auricularia* (za Abb. 15) sehr gut entwickelt sind und schräg nach innen und oben stehen. Diese lateralen Hinterhauptzapfen sah ich schon bei den jüngsten *Forficula*-Larven sehr deutlich ausgebildet (Abb. 7) und will hier schon hervorheben, dass überhaupt *der* ***Mikrothorax bei den jüngsten dem Ei entschlüpften Forficula-Larven in allen wesentlichen Teilen bereits wohl ausgebildet ist,*** *mithin beim Embryo zur Entwickelung gelangt.*

Die lateralen Hinterhauptzapfen kommen allen *Dermapteren* zu, doch sah ich sie nirgends kräftiger als bei *Forficula*. In Abb. 24 sieht man bei gz die kleinen Doppelzäpfchen von *Allosthetus*, während aus Abb. 37 die abgerundeten Höcker von *Hemimerus* ersichtlich sind.

*Die Submentalgelenke* dagegen trifft man nicht bei allen *Dermapteren*, vielmehr nur bei solchen, deren Submentumhinterrand jederseits eine deutliche Einbuchtung zeigt, wie z. B. bei *Allosthetus* (Abb. 8 und 25). Die Zapfen nämlich, welche die unteren Enden der Hinterhauptleisten einnehmen (Abb.

24 gh), greifen, wie Abb. 25 ersichtlich macht, in die Buchten des Submentumhinterrandes ein. Bei anderen *Dermapteren,* z. B. *Forficula* (Abb. 15) verbinden sich die Leisten des Hinterhauptloches durch schmale Zapfen ttz *sofort,* d. h. ohne untere innere Gelenkhöckerbildung, *mit dem Hinterrande des Tentorium,* eine Verbindung welche natürlich auch bei jenen höckerführenden Formen besteht (Abb. 24) aber durch die Zapfen gh mehr verdeckt ist. Bei den Formen, deren Submentumhinterrand nur einfach breit ausgebuchtet ist, *dreht sich das Submentum* (und Mentum) *gegen das Hinterhaupt* vermittelst der Häute zwischen Submentum und Postmentalstücken (Abb. 15). Das eigentliche Paar der Nackengelenke ist mithin das *mikrothorakale.*

Seine Gelenkzapfen gehören ihrer Lage nach in das Gebiet des oben charakterisierten *Sympleurion,* welches allerdings hinten bei den *Holodermaptera* keine bestimmte Begrenzung zeigt. Merkwürdigerweise ist gerade bei *Hemimerus* eine solche Hinterkopfpartie (vs Abb. 37) gut begrenzt.

Ein wenig vor jener Stelle, wo die hinteren Zipfel des Tentorium mit den unteren Zapfen der Leisten des Hinterhauptloches verwachsen sind, befindet sich in diesem Tentorium-Zipfel seitlich ein Gelenkgrübchen (g Abb. 15 und 37), in welches ein Basalhöcker der Cardo eingreift. Dieses Gelenk ist der schon genannte Drehungspunkt der Cardo, welche mit ihrem Basalstück unter die Seiten des Submentum greift. (Vergl. Abb. 7 und 15.)

Die vergleichend-morphologische Natur der *Cardo,* deren Zweiteiligkeit bereits oben beschrieben wurde, kann, wenn wir das Maxillopodensegment mit den beintragenden Thorakalsegmenten vergleichen, nicht mehr zweifelhaft bleiben. Es handelt sich um *cocoxale Pleuren,* denn gerade wie diese an jenen Segmenten mit der Coxa zwei Gelenke bilden, geschieht es auch hier, und wie sie dort die Verbindung zwischen Hüfte und Rumpf vermitteln, ist es auch hier der Fall. Die Cardo liegt auch unterhalb des ecoxale Teile enthaltenden Synpleurions und seitwärts des Sternit (Submentum), entsprechend der Lage von Trochantin und Coxopleure in den beintragenden Thorakalsegmenten. A. a. O. habe ich 1902 gezeigt, dass der *Trochantin* sich mehr innerhalb und unterhalb der *Coxopleure* befindet (also dem Sternit näher), daher können wir auch *das innere Cardostück als Trochantin* (ca 2 Abb. 15 und 37), *das äussere als Coxopleure* ca 1 *auffassen.*

*Das Submentum ist das Sternit des Maxillopoden*segmentes und *die beiden Maxillenpaare sind bisher, hinsichtlich ihrer Folge von vorne nach hinten, verwechselt worden,* d. h. *nicht das Labium stellt die hinteren Unterkiefer vor, sondern die Maxillen und nicht die Maxillen stellen die vorderen Unterkiefer vor, sondern das Labium.*

Dieses überraschende Ergebnis, welches ich kurz auch schon an anderer Stelle veröffentlicht habe, folgt mit zwingender Notwendigkeit aus der im Vorigen und Folgenden geschilderten vergleichenden Anatomie des Kopfes niederer Insekten. Hier muss aber auf Folgendes besonders hingewiesen werden:

Dass das *Mentum das Sternit des Labiopodensegmentes* darstellt, ist nach *Bau, Verbindung, Lage* und *Muskulatur* ganz zweifellos. Da nun das *Submentum hinter* dem *Mentum* liegt und bei allen *Dermapteren* ein scharf begrenztes, bewegliches und selbständiges Sklerit darstellt, das schon bei den dem Ei entschlüpften Lärvchen (Abb. 7) gut ausgeprägt ist, so muss, wenn dieses Submentum das Sternit des Maxillopodensegmentes vorstellt, dieses Segment überhaupt *hinter* dem Labiopodensegment liegen. Dass aber *das Submentum das Sternit des Maxillopodensegmentes ist,* ergibt sich aus Folgendem:

Die oben geschilderte Verbindung zwischen den Leisten des Hinterhauptloches mit dem Submentum sowohl als auch der Hinterhälfte des Tentorium weist schon auf eine nahe Beziehung von Submentum und Tentoriumhinterhälfte, während eine solche zwischen letzterer und dem Mentum erst durch das Submentum vermittelt wird. Das Submentum liegt ausserdem nicht nur gerade *unter* den hinteren Verwachsungsstellen von Kopfkapsel und Tentorium, sondern auch unter den Gelenkstellen von Tentorium und Cardines. Diese Basalstücke der Cardines liegen (Abb. 7 und 15) ferner genau neben den Seitenrändern das Submentum und greifen ein in die häutige Tasche neben und oberhalb derselben. Die Cardines liegen also ebenfalls *hinter* dem Mentumbereich und die Verbindung der Maxillopodenhüften mit dem Kopfe geschieht teils durch eben diese Cardines, teils durch Muskeln, welche sie mit dem mittleren und hinteren Tentoriumbezirk verbinden. Die ganzen *Wurzeln* der Maxillopoden liegen also *hinter* dem Mentum und den Labiopoden. Endlich habe ich auch Muskeln beobachtet,

welche die Hinterkopfleisten mit der Cardobasis verbinden (camhk Abb. 7). Alle diese Verhältnisse verweisen die Maxillopoden also auf einen Platz *hinter* den Labiopoden.

Betrachten wir aber die Verbindung der Labiopoden nach *vorne,* so ist von Maxillopodensegment nichts zu sehen, vielmehr schliesst sich an die Hüften des Labiums, unter Vermittelung der Epilabialhaut, gleich der *Hypopharynx* an, der auch durch besondere Muskeln (Abb. 14 im) mit dem Mentum verbunden wird. An den Hypopharynx aber — der noch weiterhin besprochen wird — schliesst sich nach vorne die Mundöffnung an. Aus den geschilderten Verhältnissen kann ich also mit dem besten Willen nichts anderes entnehmen als den Schluss, dass die Maxillopoden hinter dem Mentum und Labium inseriert sind und dass daher das Maxillopodensegment sich *hinter* dem Segment der Labiopoden befindet.

Man könnte vielleicht sagen, das Submentum sei nur eine hintere Abschnürung des Mentum. Abgesehen davon, dass dem die Selbständigkeit des Submentum nicht nur bei allen Dermapteren-Familien, sondern auch schon bei den jüngsten Larven widerspricht und dass die coxobasalen Muskeln der Labiopoden nach hinten nie auf das Submentum übergreifen, vielmehr ihre hintere Grenze durch die Muskelzapfen über den Mentumhinterecken (y Abb. 14) in der schärfsten Weise ausgeprägt zeigen, würde mit einer solchen Annahme auch die tatsächliche Inserierung der Maxillopoden *hinter* dem Labium garnicht geändert, vielmehr würde sich die Frage erheben, wo steckt das Sternit des Maxillopodensegmentes, eine Frage, welche durch die tatsächliche Beschaffenheit des Submentum zwanglos beantwortet wird.

Wichtig ist es zu betonen, dass durch meine neue Auffassung ein *Widerspruch* beseitigt wird, welcher sich zwischen *Chilopoden-* und *Hexapoden-*Mundteilen nach der herrschenden Ansicht notwendig ergibt: Während nämlich bei den *Chilopoden* die *hinteren* Mundfüsse mehrgliedrig sind und sehr *beinähnlich,* die vorderen dagegen weniggliedrig und daher viel weniger beinähnlich, sollten umgekehrt bei den *Hexapoden* die beinähnlicheren Maxillen die vorderen, die weniger gegliederten Unterlippenfüsse dagegen die hinteren Unterkiefer vorstellen! Durch meine Erklärung wird dieser Widerspruch also aufgehoben, ein Umstand welcher auch zu Gunsten derselben spricht.

Oben habe ich bereits gezeigt, dass hinsichtlich der Entwickelung die Mundteile der jüngsten Lärvchen mit denen der Erwachsenen in den meisten Punkten übereinstimmen. Man wird aber fragen, wie sich die *embryonale* Entwickelung zu meiner Darlegung verhält. Bezugnehmend auf R. Heymons „Embryonalentwickelung der Dermapteren und Orthopteren," Jena 1895 kann ich nur feststellen, dass dieselbe keine Mitteilung und auch keine Zeichnung enthält, welche für die alte oder neue Auffassung mit einiger Sicherheit verwendbar wäre. Abbildungen wie namentlich die im Kapitel über „die Entwickelung der Körpergestalt" enthaltenen zeigen nur die allgemeinsten Anlagen der bekanntesten Verhältnisse, sind daher für vorliegende Frage nicht verwendbar. Die Abb. III auf S. 20 „von Forficula nach Anlage sämtlicher Extremitätenpaare" gibt keinen Aufschluss, zumal man nicht weiss, ob dort nicht schon eine Verlagerung stattgefunden hat. Übrigens sind die Anlagen beider Unterkieferpaare so *ähnlich,* dass man garnicht wissen kann, auf welche späteren Gebilde die eine oder andere zu beziehen ist. Diese Ähnlichkeit der Anlagen bewirkt überhaupt, dass die Embryonen-Abbildungen verschiedener Autoren uns im beregten Sinne keinen Anhalt liefern. Aus dem sonst manches Interessante bietenden Aufsatze von R. Heymons über „die Segmentierung des Insektenkörpers" Abh. d. preuss. Akad. d. Wiss. Berlin 1895 lässt sich hinsichtlich der beiden Maxillenpaare auch nichts Sicheres entnehmen. Die Lage der beiden Maxillenpaare hintereinander geht aus den dort in Abb. 5 und 8 gezeichneten Anlagen natürlich ganz klar hervor, aber wieder sind diese Anlagen nahezu übereinstimmend. Nimmt man dann Abb. 9, so ist schon eine Annäherung an den definitiven Zustand ersichtlich, aber eine grosse Kluft trennt diesen Fall von denen der Abb. 5 und 8, sodass nichts Sicheres hinsichtlich der Beziehung der Maxillenpaare zu erkennen ist.

Ähnlich steht es mit Heymons „Entwickelungsgeschichtlichen Untersuchungen an *Lepisma saccharina* L.",[1]) doch findet man dort eine Abb. 18 von einem „nahezu fertig ausgebildeten Embryo," welche die Maxillen *hinter* dem Labium darstellt. Freilich kann darauf nicht viel Wert gelegt werden, weil die Wurzelteile in Bezug auf die Deutlichkeit alles zu wünschen übrig lassen.

[1]) Zeitschr. f. wiss. Zool. LXII, 4, Leipzig 1897.

Die beste einschlägige, weil insbesondere die Mundteileentwickelung behandelnde Arbeit scheint mir J. W. Folsoms „Development of the Mouth-Parts of *Anurida* Guér.“ zu sein, Bull. Museum of compar. Zool. at Harvard College Vol. XXXVI. Nr. 5, Cambridge Mass. 1900. Betrachten wir daselbst die Abb. 11, so bemerkt man drei Knotenpaare, an deren *mittleres* sich die „plica oris“ anschliesst. In den durch die Abb. 12, 21, 30 und 34 vertretenen Stadien dagegen hängt diese Falte mit den *hinteren* Wülsten oder Höckern zusammen. Dies erweckt den Anschein, als seien die mittleren Höcker in Zusammenhang mit den Falten hinter die ursprünglich hintersten geschoben worden. Folsom selbst nimmt dies allerdings nicht an, aber seine Darstellungen ermöglichen eine solche Auslegung wenigstens ebensogut wie die gewöhnliche. Wie dem auch sein mag, die Mundteile der *Collembolen* weichen so sehr von den primitiven beissenden Mundwerkzeugen der *Ektotropha* und *Pterygota* ab, dass Schlüsse von den einen auf die andern nur mit grösster Vorsicht gemacht werden können.

Wenn aber die Embryologie in so fundamental wichtigen Fragen, wie die der Lagebeziehung der beiden Maxillenpaare, oder wie ich es kürzlich hatte, in den Urzwischensegmenten des Thorax, oder früher in der Frage nach der vergleichend-morphologischen Natur der Genitalanhänge, oder auch in der Beziehung von Coxit und Telopodit der Cerci, keinen sicheren oder z. T. überhaupt keinen Aufschluss bietet (Mikrothorax), so hat Heymons zweifellos vollkommen Recht, wenn er auf Seite 4 seiner „Segmentierung des Insektenkörpers“ 1895 selbst betont, dass die anderen Zweige unserer Wissenschaft, namentlich aber die vergleichende Anatomie der *selbständigen Formen* (Larven und Imagines) „von der Embryologie nur wenig Anregung entnehmen konnten.“ Es ist dankbar anzuerkennen, dass Heymons bei embryologischen Arbeiten verschiedentlich bestrebt war „auf die morphologische Betrachtungsweise etwas mehr Gewicht zu legen.“ Dass *Hautskelett, Segmentation, Gliederung* und *Gestaltverhältnisse* bei den Gliedertieren ganz allgemein betrachtet, d. h. unter Berücksichtigung aller zoologischen Richtungen, bei weitem das *Wichtigste* in der Morphologie darstellen, kann ernstlich nicht in Frage gestellt werden. Die vergleichende Morphologie gerade dieser Gebiete ist auch für Systematik, Phylogenie und Biologie in erster Linie von Wichtigkeit. Die ausserordentliche Schärfe und Klarheit, welche die *Segmentations-*

*Gliederungs-* und *Gestalt*verhältnisse der selbständigen, postembryonalen Formen bei gründlicher Untersuchung darbieten, lässt meines Erachtens die vergleichende Morphologie derselben zur Lösung der auf diese Gebiete bezüglichen Fragen in den meisten Fällen wesentlich geeigneter erscheinen als die Embryologie. Zahlreiche Fälle haben das zur Evidenz erwiesen. Der Bau des Insektenkörpers ist noch bedeutend *verwickelter* als man das bisher meistens angenommen zu haben scheint. Der Schluss aber, dass *das, was man bisher am Embryo nicht gesehen hat, auch keine grosse Bedeutung habe, ist ein Fehlschluss.* Die vergleichende Morphologie möge daher, namentlich auf den genannten Gebieten, ihre volle Selbständigkeit bewahren und die Überzeugung, dass sie schwebende Fragen in den meisten Fällen *allein* lösen kann, wenn die genügende Zahl von Vergleichsobjekten zu Rate gezogen wird. Ungenügende vergleichend-morphologische Untersuchungen haben oftmals den Hinweis auf eine Hülfe von embryologischer Seite lediglich als Ausflucht benutzt. Das ist nicht zu billigen, vielmehr soll jede Richtung für sich vergehen, die embryologische sowohl als auch die vergleichend-morphologische, ohne sich aufeinander zu vertrösten, *dann* werden sich beide am besten *ergänzen*.

Auf die bisherigen Arbeiten über Mundteile der *Dermapteren* werde ich im Folgenden näher eingehen.

Zum Schlusse dieses Kapitels noch wenige Bemerkungen über den auf den Hinterkopf folgenden Mikrothorax der *Dermapteren*. Das Lageverhältnis des Mikrosternum, seiner Apodemen und interkalaren Vorplatte (iv) ist aus Abb. 15 ersichtlich. Abb. 7 zeigt, dass die kräftigen Longitudinalmuskeln, welche vom Mikrosternum ausgehen (mim), sich hinten am Kopfe an der Stelle befestigen, wo die unteren Enden der Randwülste des Hinterhauptloches mit den hinteren basalen Stellen des Tentoriums verbunden sind. Dort sind ferner longitudinale Brückenmuskeln befestigt bmpr, welche vom Prosternum herkommen. Von den Apodemen des Mikrothorax geht jederseits ein Muskel mbmo an die Leisten der Hinterhauptöffnung, nahe bei den Zapfen, ein anderer mbmh befestigt sich an jenen weiter oben. Dorthin geht ein anderer Muskel mil auch von den Pleuren des Mikrothorax, während diese mit den mikrothorakalen Apodemen ebenfalls muskulös verbunden sind, mipl. Zwei kräftige Muskelpaare ziehen nebeneinander schräg

von unten hinten nach vorne und oben ansteigend oben an den Hinterkopfrand, ausgehend von unteren Pleuren und dem hinteren Gebiet der Nackenbalken (mbm Abb. 26). Schon jetzt kann ich ferner feststellen, dass den meisten *Dermapteren* vor dem Tergit des Mikrothorax auch noch ein interkalares Tergit zukommt.[1])

Heymons hat in seiner Embryonalentwickelung der *Dermapteren* u. s. w. auf S. 50 über das Endoskelett verschiedene interessante Mitteilungen gemacht, so heisst es gerade über *Forficula:*

„Im Kopfabschnitt sind *zwei Paar* von Ektodermeinstülpungen, welche das als *Tentorium* bezeichnete Gebilde liefern. Sie treten noch vor der Umrollung des Keimstreifens auf. Das vordere Paar entsteht medialwärts an der Basis der Antennen und stellt zwei weite, mit dem blinden Ende nach hinten gerichtete Säcke dar, welche in dorsoventraler Richtung abgeplattet sind. Die hintere Tentoriumanlage erscheint vorn an der *Basis* der *zweiten* Maxillen, die hier entstehenden Einstülpungen nehmen auch anfangs die Form von weiten Taschen an. . . . . Sie dehnen sich auch durch das erste Maxillarsegment aus und gelangen . . . . an das Hinterende der vorderen Tentoriumanlage. Nach der Umrollung des Keimstreifens zeigt es sich, dass eine mediane Verbindung zwischen den beiden vorderen Tentoriumanlagen eingetreten ist, welche sich oberhalb des Mandibularganglions und zwar zwischen diesem und dem Schlunde befindet. . . . . Die hinteren Anlagen haben die median verbundene Partie der vorderen erreicht und legen sich dorsalwärts der letzteren auf. An dieser Stelle kommt es später zu einer *Vereinigung* der einzelnen Anlagen untereinander. Von dem betreffenden Punkte wachsen in der Folge noch zwei Schenkel zur Dorsalseite hin."

Dieser Schilderung entspricht meine obige über die Nähte des Tentorium und seine Lage und Befestigung in der Kopfkapsel in der Hauptsache, nur nehme ich für die genannten antennalen Äste (Abb. 24 und 37) ein drittes Paar von Ursprungsstellen an. Heymons verlegt die hinteren Tentoriumanlagen an die „Basis der zweiten Maxillen". Da er aber über diese „Basis" keine richtige Vorstellung hatte, wie ich bei der Besprechung der Erklärung des Mentum schon ausgeführt habe, kann hierauf auch kein

[1]) Näheres darüber in einer späteren Arbeit.

Gewicht gelegt werden. — Im Abschnitt über „die Speicheldrüsen“ bespricht Heymons auf S. 53 „noch ein drittes Drüsenpaar, dessen Funktion als eigentliche Speicheldrüse“ er jedoch „nicht mit Bestimmtheit behaupten will. Es befindet sich im hinteren Kopfteil, besitzt eine kugelige Gestalt und mündet rechts und links an der auf das Submentum nach hinten folgenden Chitinplatte aus.“ Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass Heymons mit diesem „Drüsenpaar“ ein Paar von Einstülpungstaschen meint, aus welchen die Apodemen oder Nackenbalken des *Mikrothorax* entstehen. Dann würde er allerdings das Interkalarsternit übersehen haben, da dieses zunächst „nach hinten auf das Submentum“ folgt. Die hinteren Enden der Nackenbalken befinden sich tatsächlich hinten neben dem Mikrosternum. Die Bezeichnung „im hinteren Kopfteil“ würde vergleichend-morphologisch als nicht ganz richtig gelten können, da die Nackenbalken nach vorne nur bis zur Kopfgrenze reichen. Wenn es heisst S. 52: „Bei Forficula entwickelt sich gegen Ende des Embryonallebens ein Drüsenpaar an dem als Mentum bezeichneten Abschnitt der zur Unterlippe verwachsenen zweiten Maxillen,“ so ist hiermit ohne Frage jenes Speicheldrüsenpaar gemeint, das ich im Vorigen bei Besprechung der Labiopoden erwähnte und welches, wie Abb. 8 anbei von *Allosthetus* zeigt, bei Erwachsenen einen unpaaren kurzen Endabschnitt als gemeinsamen Ausführweg besitzt. Streng morphologisch ist es aber nicht richtig diese Drüsen als „*an* dem Mentum“ sich entwickelnd zu bezeichnen, da sie vielmehr den Labiopodenhüften genähert sind und vom Mentum sowohl durch diese als auch die prämentale Haut getrennt werden. Dass das Mentum kein „Abschnitt“ der zweiten Maxillen ist, habe ich schon an anderer Stelle besprochen.

## 9. Der Hypopharynx.

Der *Dermapteren*-Hypopharynx macht auf den ersten Blick einen ziemlich einfachen Eindruck, stellt sich aber bei näherer Untersuchung als ein verwickeltes Gebilde heraus. Die schon erwähnte Epilabialhaut trennt ihn nach unten von den Labiopodenhüften. Bei den *Holodermaptera* besteht der Hypopharynx aus folgenden Abschnitten:

a) dem Unterplättchen, Laminula,
b) den beiden Seitenplatten,

c) der Zunge und ihren Nebenläppchen,
d) den inneren Balken,
e) den Zungenbürsten.

Nach hinten und oben schliessen sich noch andere paarige Gebilde an, welche in einer Haut liegen, welche von der Zunge direkt in den Schlund führt und dieser Haut als Stütze dienen. Ich bezeichne dieselben als *parastomatische Bälkchen* (Abb. 17 pstpl 1 und 2) und kleine, direkt in der Mundhaut hefindliche Sklerite als *stomatische Plättchen*.

a) Das *Unterplättchen, Laminula,* ist nach den Gattungen sehr verschieden gestaltet (vergl. Abb. 10 und 41 *Allosthetus,* Abb. 36 *Hemimerus,* Abb. 12, 13 und 22 *Forficula* lapl) immer aber ein ziemlich flaches, zartes und borstenloses Sklerit, welches eine oder mehrere Gruppen von Porenkanälen besitzt. Bei *Forficula* fand ich nur eine mittlere Porengruppe (Abb. 22), bei *Allosthetus* (Abb. 41) ausser einer mittleren zwei längliche seitliche. Man kann an der *Laminula* die eigentliche vordere *Platte* (genuina) vom hinteren *Wurzelteil* (radix) unterscheiden. Der Wurzelteil laba verschmälert sich nach hinten und besitzt entweder eine Mittelnaht (Abb. 22) oder besteht aus zwei getrennten Schenkeln. Während der Plattenteil auch mit seinem Vorderende (bb Abb. 41) gegen den Hypopharynx bei manchen Formen z. B. *Allosthetus* gut abgesetzt ist, erscheint er bei anderen z. B. *Forficula* mit ihm verwachsen. An den Wurzelteil heften sich hinten und seitwärts zwei Muskelpaare (Abb. 22 im und hym), welche beide vom Mentum herkommen und den Charakter von Longitudinalmuskeln besitzen. Ihrer Funktion entsprechend können sie Laminula-Retraktoren genannt werden. (Vergl. auch Abb. 14 und 38 im.) Da der Hypopharynx und damit auch die *Laminula* eine Lage zwischen den Mandibeln einnimmt, da ferner nach ihrer Gestalt und nach der Verbindung durch Longitudinalmuskeln mit dem Mentum die Laminula den Charakter eines *Sternit* und zwar eines *vor* dem Mentum oder Labialsternite befindlichen besitzt, so kann sie *als Sternit des Mandibularsegmentes* in Anspruch genommen werden.

*b, c* und *d,* d. h. *Seitenplatten, Zunge* und *innere Balken* stehen nach Lage und Verwachsung in einem engeren Verhältnis und innigerer Verbindung, können auch als der *eigentliche Hypopharynx* bezeichnet werden.

Seinen hinteren Teil und zugleich die Seiten nehmen die bei allen daraufhin geprüften *Holodermaptera* stets mit einer Gruppe mehr oder weniger starker *Tastborsten* besetzten *Seitenplatten* ein (Abb. 10 hyph), welche am Grunde (Abb. 22) durch Haut mit der Laminula verbunden sind, während sie nach vorne ohne scharfe Grenze in die *Zunge* übergehen. Die Zunge besitzt niemals Tastborsten, aber meist äusserst feine Riefen oder Härchen oder Zellstrukturen. Sie ist dreieckig bis abgerundet und besitzt jederseits ein kleines Nebenläppchen (Nebenzungen), in welches von den Seitenplatten her eine versteifende Chitinleiste hineinragt (Abb. 10 list). Die gewölbte Oberfläche zwischen Zunge und Seitenplatten wird von einer namentlich hinten oft mit vielen feinen Härchen besetzten Haut eingenommen. In der Mitte, aber etwas mehr nach hinten, also gerade zwischen den Seitenplatten finden sich die *Zungenbürsten* (Abb. 10 und 40 $\alpha\,\alpha$), zwei Längsverdickungen der Zungenhaut, welche sehr dicht mit langen und spitzen Haaren besetzt sind, von welchen einige bei sehr starker Vergrösserung in Abb. 23 a und b dargestellt sind. Diese Zungenbürsten sind so angeordnet, dass sie zwischen sich eine *Längsrinne* freilassen. Bei dem starken Reinlichkeitssinn, der sehr viele Insekten [aber auch schon viele *Chilopoden*!] auszeichnet und auch die *Ohrwürmer,* liegt es auf der Hand, dass diese Tierchen, indem sie ihre Beine und Antennen zur Reinigung durch den „Mund“ ziehen, mit den Zungenbürsten die Staubteilchen, anklebenden Fremdkörper und sonstige Ungehörigkeiten von jenen Gliedmassen abbürsten, wobei namentlich die dünneren Endhälften der Fühler durch die Rinne zwischen den beiden Bürsten gezogen werden können, wobei die häutige Beschaffenheit der Zunge und der Umgebung der Zungenbürsten ein Vorstülpen dieser Teile durch Blutdruck gestattet. Im Folgenden werden auch noch epipharyngeale Teile besprochen, die diese Reinigungstätigkeit unterstützen. Interessant ist es aber, dass die Zungenbürsten gerade bei derjenigen *Dermapteren*-Gattung fehlen (Abb. 36 und 39), welche infolge ihres Lebens auf Säugetieren am wenigsten mit Staub und Erdteilchen in Berührung kommt und auch am wenigsten Gelegenheit zum Säubern der Extremitäten hat, nämlich *Hemimerus*. Die Antennen dieser Tiere sind auch derartig gestellt, dass es sehr fraglich erscheint, ob sie überhaupt von den Mundteilen gereinigt werden können. Bei *Hemimerus* sind ferner die Seitenplatten vollständig verkümmert, desto deutlicher entwickelt sind Zunge und

Nebenzungen. Letztere (Abb. 39 li 1) sind sehr fein gerieft. Statt der die Zungenbürsten führenden Region findet sich nur ein schmaler Streifen von Härchen (x x).

Im Innern der Zunge finden sich als Stützen zwei *innere Balken* (iba Abb. 10 und 39), welche fast immer asymmetrisch gestaltet sind (wie übrigens auch die Zungenbürsten), mit der Wand der Seitenplatten verwachsen und auch an der Gelenkverbindung zwischen Hypopharynx und parastomatischen Balken beteiligt (Abb. 54 iba, g). Sie sind mehr oder weniger dunkel gefärbt und in ihrer etwas unregelmässigen Gestalt kaum in Kürze zu beschreiben, weshalb ich auf die Abb. 10, 12, 13 verweise. Bei *Hemimerus* Abb. 39 sind die inneren Balken klein, symmetrisch und in der Mitte in Gestalt einer dünnen Spange verwachsen. Muskeln gehen weder an die inneren Balken noch an die Zunge, aber der *Hypopharynx* wird mit bewegt durch die Muskeln, welche sich unten an die Laminula und oben an die parastomatischen Balken befestigen, denn die Laminula ist entweder durch Haut mit dem Hypopharynx verbunden oder vollständig mit ihm verwachsen und mit dem Gelenk, welches zwischen parastomatischen Balken einerseits und Hypopharynx andererseits besteht, hat es folgende Bewandtnis: Die inneren Balken des Hypopharynx sind wie schon geschildert mit den Seitenplatten desselben seitlich verwachsen, wie in Abb. 54 bei iba angedeutet ist. Die inneren Balken bilden hier einen vorragenden Zapfen und gegen diesen Zapfen lehnt sich ein Fortsatz, welcher das Vorderende der *parastomatischen Balken* ausmacht. Diese Balken sitzen mit ihrer Vorderhälfte an dem Hypopharynx, mit ihrer Hinterhälfte *unten* und *seitwärts* in der *Pharynxwand*, sind, wie Abb. 17 und 40 zeigen, langgestreckt und etwas säbelartig gebogen und der Asymmetrie der inneren Balken und der Zungenbürsten entsprechend ebenfalls etwas asymmetrisch. Sie sind vorne kräftig und verschmälern sich allmählich nach hinten zu. Sie wölben sich etwas nach unten und besitzen nach unten und aussen, in einer nach den Gattungen verschiedenen Weise eine seitliche, plattenartige Erweiterung (Abb. 17, 40 und 54 pstpl 1), das *Balkenplättchen*. Dasselbe sitzt bei *Forficula* dem Vorderende viel mehr als dem Hinterende genähert, während es bei *Allosthetus* annähernd in der Mitte der Balken ansitzt. Es ist stets durch eine kleine Gruppe von Porenkanälen ausgezeichnet, welche einzelligen Drüsen zugehören,

die ich in ihrer Nachbarschaft bemerkte. Das wie gesagt in der seitlichen und unteren Schlundwand gelegene verschmälerte Hinterende der parastomatischen Balken zeigt eine kleine verdunkelte Stelle (a Abb. 53), an welcher ein *parastomatischer Tentoriummuskel* (tthm) befestigt ist, welcher sich am Vorderbezirk des Tentorium ausbreitet. Neben diesem Hinterende der Balken findet sich noch ein zartes *stomatisches Plättchen* jederseits (pstpl 2), in welchem ich 3—4 Poren bemerkte. Da in diesen Poren kleine Zäpfchen stehen (Abb. 53 c) und die Plättchen sich unten in den Schlundseiten befinden, so können diese 3 + 3 oder 4 + 4 zäpfchenführenden Poren als *Schmeck*grübchen in Anspruch genommen werden. Die *Balkenplättchen* legen sich, wie Abb. 54 pstpl 1 erkennen lässt, an den Grund der Seitenplatten des Hypopharynx und bilden zusammen mit dem schon geschilderten Gelenk zwischen dem Zapfen der inneren Balken und dem Vorderende der parastomatischen Balken eine lose Gelenkverbindung zwischen diesen und dem Hypopharynx. Bei g 1, d. h. vor den Balkenplättchen findet sich eine elastische Haut. Durch Anziehung der parastomatischen Tentoriummuskeln und der Retraktoren der Laminula wird der ganze Hypopharynx zurückbewegt, gleichzeitig aber findet im Gelenk (g Abb. 54) der Vorderzapfen der parastomatischen Balken eine Drehung statt. Vielleicht kann durch die Vorderzapfen der Hypopharynx auch etwas nach oben gedrückt werden. Das Zurückkehren in die Ruhelage wird jedenfalls durch die eine dünne federnde Platte vorstellende Laminula erleichtert. Andererseits ist es nicht zu bezweifeln, dass der Hypopharynx (und damit auch die Zunge), bei Nahrungsaufnahme oder bei der Fühlerreinigung durch Blutdruck geschwellt werden kann, die häutige Natur von Zunge und Nebenzungen deutet geradezu darauf hin.

Die geschilderten *Gelenke* zwischen Hypopharynx und parastomatischen Balken lassen, ebenso wie die scharf abgesetzte und dem Schlunde mehr genäherte Lage der Letzteren den Schluss gerechtfertigt erscheinen, dass beiderlei Gebilde ursprünglich nicht aus denselben Elementen entstanden sind. Da die Muskeln der Laminula vom Mentum, die der parastomatischen Balken aber vom Vorderbezirk des Tentorium herkommen und da die parastomatischen Balken morphologisch *über* und *vor* der Laminula liegen, so ist, nachdem letztere als Mandibularsegment-Sternit in Anspruch genommen werden musste, der Schluss berechtigt, *dass die parastomatischen Balken*

*Bestandteile eines Segmentes sind, welches vor dem Mandibularsegment zu suchen ist,* aber unter und darum hinter der Mundöffnung. Als ein solches Segment ist durch teils vergleichend-morphologische, teils embryologische Untersuchungen das *prämandibulare* von *Chilopoden* und *Apterypoten* bekannt geworden, wo es jedoch überall mehr oder weniger schwach entwickelt ist, etwas stärker anscheinend bei *Collembolen*. Es fragt sich nun, wie der zwischen parastomatischen Balken einerseits und Laminula andererseits gelegene, eigentliche Hypopharynx zu deuten ist. Von eigentlichen Extremitäten kann hier nicht gut die Rede sein, auch ist es strittig, ob man diese Teile segmental der Laminula oder den parastomatischen Balken zugesellen soll, zumal ihnen besondere Muskeln nicht zukommen. Für das Wahrscheinlichste ergibt sich nur die Auffassung *der Seitenplatten als abgesetzter Teile des Mandibularsternites, also der Laminula zugehörig,* während der *übrige Hypopharynx eine Neubildung ist, entstanden durch Ausgestaltung der ventralen Intersegmentalhaut zwischen Mandibular- und Praemandibularsegment.*

Hinsichtlich *Hemimerus* bemerke ich noch, dass die Balkenplättchen (Abb. 39 pstpl 1) verhältlich gross sind und ebenfalls eine Porengruppe besitzen, während die schwachen Hinterenden ganz nach innen gegeneinander gebogen sind und in der Mitte verlötet, entsprechend den geschilderten inneren Balken.

## 10. Der Epipharynx.

Der Bau des *Epipharynx* ist nicht minder verwickelt als der des eben besprochenen Hypopharynx. Vom Rande der bereits oben erörterten Oberlippe zieht unten gegen den Schlund hin eine Haut von grösstenteils zarter Beschaffenheit, die *Unterhaut der Oberlippe,* hypolabrale Haut. An der Grenze zwischen Clypeus und Labrum ist im Kopfinnern jederseits etwas innen von den Seitenenden der clypeolabralen Grenzhaut ein dicker, sehr dunkel gefärbter Zapfen zu bemerken, der sowohl am Labrum als auch am Clypeus befestigt ist, im *stärkeren* Maſse allerdings am *Labrum,* und schnell nach innen abbiegt. Dieser Zapfen, welchen ich als processus exterior, *Aussenzapfen* bezeichne, ist deshalb so kräftig, weil er der *Grundpfeiler* eines geweihartigen endoskelettalen Gerüstes ist (Abb. 11, 17, 21 lbf)

welches jederseits *unterhalb der clypeolabralen Grenze hängt und teilweise in das labrale, teilweise in das clypeale Gebiet hineinragt,* wobei die inneren asymmetrischen Enden etwas gegeneinander verschoben sind. Im Ganzen macht dieses Gerüstepaar, welches ich als *clypeo-epipharyngeales* oder auch kurz *präorales Gerüst* bezeichne, den Eindruck eines dicken ʔ artig gebogenen und mit verschiedenen Nebenfortsätzen versehenen Balkenpaares. Vom Aussenzapfen abgesehen kann man jederseits *zwei vordere* und *zwei hintere* Fortsätze unterscheiden. Von den hinteren Fortsätzen ist der äussere (lba Abb. 16 und 17 von *Forficula*) *der Hinterzapfen* (processus posterior) dick und kurz, der innere lbi, den ich *Gaumenfortsatz* (processus tenuis) nenne, lang und dünn, schräg nach hinten und innen gebogen. Die vorderen Fortsätze bestehen in einem kurzen äusseren Haken und einem dreieckigen *Innenzapfen* (processus interior). Letzterer gehört zu den asymmetrischen Bildungen, denn er kommt nur an der *linken* Seite vor, rechts befindet sich eine einfache Abrundung. Asymmetrisch sind auch die Innenenden der Gerüste, indem das linke mit einem *Mittelzapfen* (processus medius) nach hinten stark vorragt, das rechte dagegen nicht (Abb. 16).

Die *hypolabrale Haut* ist reich an winzigen Wärzchen. Besondere Auszeichnungen aber besitzt sie unterhalb der präoralen Gerüste.

Hinter diesem Gebiet teilt sich die hintere Fortsetzung der hypolabralen Haut in zwei Felder, welche ich als *epipharyngeale Gaumenfelder* bezeichne (ga Abb. 16). Die mittlere Trennung dieser beiden Gaumenfelder wird dadurch bewirkt, dass sich die Haut in der Gegend unter den inneren Enden der präoralen Gerüste zu einer *Epipharynx-Grube* einsenkt, vor welcher sich ein besonderes Läppchen e bemerkbar macht. Hinter der *Epipharynxgrube* treten die inneren Ränder der Gaumenfelder bei *Forficula* dicht aneinander, um hinterher wieder stark auseinander zu weichen. Die genannte sehr feine Wärzchenstruktur der *hypolabralen Haut* geht ohne scharfe Grenze in die der Gaumenfelder über, verstärkt sich auf deren vorderen Gebieten nicht nur, sondern nimmt zu Seiten der Epipharynxgrube nach und nach (Abb. 16) die Form von kleinen Spitzchen an, bis schliesslich am Rande der Grube, namentlich auf der rechten Seite ziemlich grosse spitze Haare auftreten. Rechts von der Epipharynxgrube findet sich eine annähernd hufeisenförmige Verdickung d, mit der Öffnung nach hinten und innen. Gerade in diesem

*Hufeisen*bogen stehen zahlreiche spitze Härchen. Das *Hufeisen* stellt die Verbindung her zwischen dem präoralen *rechten* Gerüst, an dessen Innenende es mit seinem oberen Schenkel angewachsen ist und mit dem *rechten* Gaumenfeld, an dessen Innensaum es sich mit dem unteren Schenkel anschliesst. Das *linke* präorale Gerüst wird mit dem *linken* Gaumenfeld verbunden teils am Innenrande des Innenzapfen lbz, teils hinter dem Mittelzapfen. Bemerkenswert ist, dass in dem ganzen ventralen präoralen Gebiet, vom Rande des Labrum abgesehen, *Tastborsten* nur in einer Gruppe jederseits von der Epipharynxgrube stehen (darunter auch eine grosse), sonst lediglich zerstreut und spärlich kurze Tastborsten etwas unterhalb des Labrumrandes.

Die Wärzchenstruktur und der Härchenbesatz der Gaumenfelder ist in deren Vorderhälfte reichlich, in der Hinterhälfte fehlt er fast ganz. Übrigens sind die Gaumenfelder etwas nach unten gewölbt und hören hinten ungefähr in der Richtung einer durch die clypeo-frontale Naht gelegten Ebene auf, ohne scharf begrenzt zu sein gegen die obere Schlundhaut. Auch hinter dem Hinterzapfen lba ist die Haut in der Längsrichtung nach unten gewölbt.

Die präoralen Gerüste sind mithin, trotzdem sie ihre Hauptausdehnung in der *Quer*richtung aufweisen, oben sowohl als auch unten befestigt, oben aussen und unten innen. Es liegt auf der Hand, dass zu einem derartig verwickelten Labro-Clypeo-Epipharyngealgerüst eine Anzahl von Muskeln in Beziehung stehen.

Ein Paar starke *frontale Gerüstmuskeln* (Abb. 16, 17 und 52 lam) kommen von der *Frons,* wo sie eine Strecke innen von der Antennengrube befestigt sind und ziehen zu den Hinterzapfen lba. Flache *Gaumenmuskeln* (Abb. 16 gam 1) gehen von den Gaumenfeldern schräg nach aussen und vorn an die Processus tenues. An eben diese langen Fortsätze heften sich hinten *zwei Paar clypeale Gerüstmuskeln* (gam und slam Abb. 52), welche vom Clypeus herabsteigen und jederseits der Mediane und etwas hinter der Mitte, nebeneinander befestigt sind. Ebenfalls am Clypeus und dicht vor den beiden Vorigen ist ein Paar *clypeale Epipharynxmuskeln* befestigt, welches nach unten an die *Buchten* geht, welche sich zwischen den Hinterzapfen und Gaumenfortsätzen befinden (slm Abb. 16, 17, 52). *Labrale Gerüstmuskeln* ziehen oben von der Mitte des hinteren Labrumgebietes, schräg übereinandergreifend von vorne an die inneren Strecken der Gerüste, gerade vor dem Gebiet der Epipharynxgrube (ilm). *Vertikale Labralmuskeln* sind schwächer und verbinden Ober-

und Unterblatt des Labrum (Abb. 33). Die das präorale Gerüst bedienenden Muskeln gehen mithin aus von

*Labrum, Clypeus* und *Frons.*

Sehr interessant ist das Verhalten von *Hemimerus,* indem dieser Gattung die präoralen Gerüste zwar zukommen, aber in wesentlich einfacherer Form auftreten als bei den *Holodermaptera.* Sie sind nämlich schwach S-förmig geschwungen und *entbehren* der eigentlichen Fortsätze vollständig. Gaumenfelder mit ihren verschiedenen Auszeichnungen und eine Epipharynxgrube, wie ich sie von *Forficula* beschrieben habe, fehlen bei *Hemimerus* ebenfalls, indem sich an deren Stelle eine ganz einfache Haut vorfindet. *Vorhandensein und Fehlen von Zungenbürsten einerseits und Epipharynxauszeichnungen andererseits stehen bei den Hemimerus und den Holodermaptera in gegenseitiger Beziehung.* Die Rolle des *Säuberungsapparates der Fühler und Beine,* welche wie schon oben besprochen, die Zungenbürsten des Hypopharynx von der *Unterfläche* her spielen, spielen von *oben* her die geschilderten Auszeichnungen des Epipharynx. *Hemimerus,* welche keine Extremitätensäuberung vornehmen, entbehren der entsprechenden Apparate sowohl dorsal als auch ventral. Die oben von *Forficula* beschriebenen Gaumenfelder (und mit ihnen überhaupt die ganze Haut unten am Labrum sowohl als auch in der Nachbarschaft der Gaumenfelder) können durch die erörterte Muskulatur, deren Wirkung durch die labroepipharyngealen Gerüste übertragen wird, verschiedenartig bewegt werden. Zunächst vermögen die *frontalen Gerüstmuskeln* die Gerüste nach hinten zu ziehen. Da die Aussenzapfen (lbf Abb. 17) eine Drehung der Gerüste nach aussen nicht gestatten, so geben die inneren Teile um so eher nach als sie innen an die zarten Gaumenfelder befestigt sind. Diese Befestigungsweise der Gerüste bewirkt also, dass der Zug der frontalen Gerüstmuskeln die Gaumenfelder nicht nur nach *hinten,* sondern *zugleich auch schräg nach aussen bewegt.* Daraus erklärt sich ferner die schräge Anordnung der labralen Gerüstmuskeln ilm, welche die Gerüste und Gaumenfelder nach vorn und innen wieder in ihre alte Lage ziehen. Eine leichte Wölbung der Gaumenfelder bewirken die Gaumenmuskeln gam 1 Abb. 16. Da die labroepipharyngealen Gerüste durch die sehr starken Aussenzapfen einen festen Ansatz am Labrum haben und da die Gerüstbalken ebenfalls kräftig sind, so müssen die beiden Gerüste wie

*elastische Federn* wirken, d. h. *bei Erschlaffung der Muskulatur die Gaumenfelder stets wieder in die gewöhnliche Lage zurückschnellen lassen.* Der grosse unpaare Muskel lamr Ab. 52, welcher von der Frons, etwas hinter der Mitte ausgeht und das Labrum, an dessen Hinterrand er sich in der Mitte befestigt, herabzieht, hat natürlich zur Folge, dass durch seine Contraktion auch die Gaumenfelder nach *unten* gedrückt werden. Die drei anderen Muskelpaare, die clypealen Gerüstmuskeln sowohl als auch die clypealen Epipharynxmuskeln bewirken, dass die Gerüste und Gaumenfelder nach *oben* gezogen werden. Diese Teile können mithin nach *oben, unten, vorn* und *hinten* bewegt werden, besonders wichtig aber erscheint eine Tätigkeit in der Richtung von hinten aussen nach vorne und innen. Bedenkt man ferner, dass die Teile einer Körperhälfte in anderem Sinne bewegt werden können als die der gegenüberliegenden und im Zusammenhang mit den geschilderten Asymmetrieen auch etwas verschiedenartig, so ergibt sich leicht, dass *durch das Hin- und Herziehen der am Innenrande mit Spitzchen ausgerüsteten Gaumenfelder eine reibende Tätigkeit entwickelt werden kann.*

Deren Bedeutung liegt einmal darin, die Ränder der *Mandibeln,* welche unter den Gaumenfeldern sich befinden und ihnen benachbart sind, zu reinigen. Aus dieser Beziehung zu den asymmetrischen Mandibeln erklären sich auch die geschilderten epipharyngealen Asymmetrien (Abb. 16).

Ferner stehen diese *Gaumenfelder* mit ihrem Spitzchenbesatz in offenkundiger *Beziehung* zu den unter ihnen gelegenen, bereits geschilderten *Zungenbürsten,* mit denen sie beim Säubern der Extremitäten in gleichem Sinne, d. h. als Putzer tätig sind.

Es ist kaum zu bezweifeln, dass die Gaumenplatten durch Hin- und Herreiben nicht nur gegeneinander, sondern auch gegen die Zungenbürsten, nachdem die Extremitäten gereinigt wurden, sich und jene nun selbst von anhaftenden Fremdkörpern zu säubern vermögen. Endlich ist es auch nicht zu bezweifeln, dass sie bei der *Nahrungsaufnahme* förderlich sind, indem sie die Nahrungsteilchen *zerreiben und aussaugen* helfen. Das Fehlen der betr. Einrichtungen bei *Hemimerus* beweist hiergegen nichts, da die Nahrung dieser Gattung eine einförmige, die der *Holodermaptera* aber eine mannigfaltige ist. Nach dieser Besprechung der biologisch-physiologischen Bedeutung

des *hypo-* und *epipharyngealen Bürsten-* und *Reibeapparates* gehe ich über zur vergleichenden Morphologie der präoralen Kopfteile.

## 11. Der präorale Kopf.

Man hat bisher bei *dem Opisthogoneaten*-Kopf folgende Segmente unterschieden: 1. Akron, 2. Präantennensegment, 3. Antennensegment, 4. Prämandibularsegment, 5.—7. die drei Kiefersegmente.[1]) Diese Anschauung ist z. B. in verschiedenen namentlich embryologischen Arbeiten von R. Heymons zum Ausdruck gekommen. Insbesondere erwähne ich seinen hübschen Aufsatz über „die Segmentierung des Insektenkörpers," Berlin 1895, Akad. der Wissenschaften, wo es auf S. 15 heisst: „In die Bildung des Kopfes (der Insekten) gehen, wie schon oben erwähnt wurde, sechs Körperabschnitte ein. Der 1. derselben ist das Oralstück, der 2. das Antennensegment, der 3. das Vorkiefersedment, der 4.—6. werden durch die drei kiefertragenden Segmente dargestellt." In seiner klassischen Untersuchung über „die Entwickelungsgeschichte der Scolopender" 1901 hat er dann als 7. das Präantennensegment für *Scolopendra* nachgewiesen. Mit Recht hat *Heymons* a. a. O. 1895 betont, dass das „Oralstück vollkommen gliedmassenlos" ist und dass „die Oberlippe und der Clypeus als mediane Hautverdickungen entstehen, welche daher morphologisch nicht mit Extremitäten in Vergleich gesetzt werden dürfen."

Die vergleichend-morphologische Untersuchung der Larven und Imagines der *Dermapteren* bestätigt das nicht nur, sondern zeigt mit noch grösserer Deutlichkeit als die embryologischen Verhältnisse, dass *im präoralen Kopfteile von Extremitäten nicht die Rede sein kann.* Auch das oben beschriebene paarige Gerüst ist durchaus *stamm*segmentaler Natur. Auffallend ist es allerdings, dass Heymons, welcher *Forficula* zu seinen Untersuchungen mehrfach herangezogen hat, von den komplizierten epipharyngealen Bildungen nichts gesehen hat. 1895 widmete er dem Hypopharynx ein besonderes Kapitel, während der Epipharynx nicht berücksichtigt wurde.

Nach den Untersuchungen von Heider und Heymons gehen sowohl das Labrum als auch der Clypeus aus einer Zellwucherung am oberen

[1]) Auf ältere Anschauungen, wie sie z. B. in Kolbes Einführung in die Kenntnis der Insekten zum Ausdruck kommen (S. 136), will ich jetzt nicht eingehen.

Rande der Mundöffnung hervor. Hieraus schlossen diese Forscher, dass beide Teile einem Segment angehören. Was es mit dem *Frons*-Abschnitt für eine Bewandtnis habe, ist wenig deutlich geworden, doch geht aus Heymons Arbeit S. 18 klar hervor, dass auch dieser dem *Oralstück* als einem einzigen Segment zugeteilt werden sollte. — Es liegt in den embryologischen Untersuchungen, soweit sie sich auf die Feststellung der *Segmentation* des Körpers der *Tracheaten* beziehen, eine gewisse Einseitigkeit des Standpunktes, indem die Verhältnisse bei *Larven* und *Imagines*, — die bei der Beurteilung m. E. das Wichtigste sind und den Ausschlag geben, — vielfach garnicht gebührend berücksichtigt worden sind. Nur so ist es zu erklären, dass ich in der letzten Zeit eine ganze Reihe von Segmenten nachweisen konnte, welche man an Embryonen nicht gefunden hatte.

Ganglien und Cölomsäckchen wurden als unentbehrliche Grundlagen für ein Segment proklamiert, wovon nur Akron und Telson durch ihre sonstige eigenartige Natur eine Ausnahme machen sollten.

Das 11. Abdominalsegment hatte diese Theorie schon sehr ins Wanken gebracht, hinsichtlich der *Urzwischensegmente* des *Thorax* und *Abdomen* aber muss sie als vollständig *hinfällig* bezeichnet werden. Einen neuen Stoss erhält sie durch den *segmentierten präoralen Kopfabschnitt.*

Es ist ein wesentliches *Verdienst* des französischen ausgezeichneten Forschers Ch. Janet die Theorie des *Oralstückes,* als eines einzigen Segmentes, mit Erfolg bekämpft zu haben. In seiner Arbeit „Essai sur la constitution morphologique de la tête de l'Insecte" Paris 1899, welche unstreitig zu den besten Abhandlungen gehört, welche über den Kopf einer Insektenordnung geschrieben worden sind, hat er am präoralen Kopfteil, — nachdem er zunächst die Segmentauffassung wie wir sie auch bei Heymons genannten Schriften finden, besprochen hat — *vier* Segmente unterschieden. Er sagt auf S. 47 dass das Akron in der embryologischen Auffassung ein „ensemble" sei „de tout ce qui précède morphologiquement le somite antennaire." „En realité l'acron parait être formé de *plusieurs* somites que je vais chercher à définir." Er ist der Ansicht, dass der Insekten- (Hymenopteren) Kopf aus *neuf* somites bestehe, nämlich *drei stomodäalen, drei cerebralen* und *drei gnathalen.* Die vier vordersten Segmente nennt er:

1. Le somite du gésier ou somite protostomodaeal,
2. Le somite oesophagien ou somite deutostomodaeal,
3. Le somite clypéo-pharyngien ou somite tritostomodaeal,
4. Le somite du labre ou somite protocérébral.

Dann folgen die fünf bekannten Segmente.

Die Abbildungen von Janet sind sehr instruktiv, aber im Ganzen doch wohl etwas zu schematisch.

Seine Abb. 3 Taf. II und die Abb. auf Taf. 7 sind besonders geeignet die Anschauungen Janet's klar zu machen. Nach ihm umgeben die drei stomodäalen Segmente concentrisch den Vorderdarm (Stomatodäum), auch rechnet er denselben die Frontal-Ganglien, Oesophagus-Ganglien und Kropfganglien („du gésier") segmental hinzu. Auffallend ist mir, dass er dieselben alle paarig angibt! Es ist doch ein *unpaares Ganglion frontale* als typisch bekannt und von den beiden anderen Schlundganglien, welche Heymons in seiner schönen Arbeit über „die Embryonalentwickelung von *Dermapteren* und *Orthopteren*" Jena 1895 auf S. 49 als *Ganglion occipitale* und *Ganglion splanchnicum* beschreibt, sagt er Folgendes: „Der Nervus recurrens läuft zwischen Oesophagus und Supraösophagealcommissur hindurch und führt zu einem hinter der letzteren befindlichen Schlundganglion" (Ganglion occipitale), „dasselbe bildet bisweilen nur eine unbedeutende Anschwellung des gleichfalls nicht selten mit eingelagerten Ganglienzellen versehenen Nervus recurrens. Das Ganglion occipitale steht in Verbindung mit zwei zu seinen Seiten befindlichen Ganglia pharyngea. Von dem Ganglion occipitale kann der *unpaare* Nervus recurrens weiter führen und bis zu einem *unpaaren* Ganglion splanchnicum reichen, oder es können von dem G. occipitale zwei laterale, mit kleinen Ganglienanschwellungen versehene Nerven abgehen (junge Larven von *Forficula*) und es kann in diesem Falle auch das *G. splanchnicum* paarig sein (Gryllus)."

Einen 2. Abschnitt des *Schlundnervensystems* schildert Heymons als bestehend „aus zwei Ganglien, Ganglia allata, welche an der Ventralfläche an der *Maxillenbasis* hervorwuchern, später dorsalwärts rücken und sich dann dem Schlunde anlegen (Blattiden, Grylliden) oder oberhalb des Letzteren in der Mittellinie sich verbinden (Forficula)." Heymons betont ferner, „dass das gesamte Schlundnervensystem der Insekten im *Kopfteil* angelegt wird,

ursprünglich *nur diesem allein angehört.* Erst später gelangen einige Ganglien mit dem weiteren Auswachsen des Vorderarmes auch in den Thorax hinein" worin aber „eine secundäre Lageverschiebung" zu erblicken ist.

Der Verdauungstraktus ist bekanntlich ein *nicht* segmentiertes Organsystem. Deshalb erscheint es mir immerhin bedenklich, wenn Janet Ganglien des Schlundnervensystems (deren Ausbildung nach den Gruppen sehr zu schwanken scheint und) welche zum *Vorderdarm* in naher Beziehung stehen, zur Definition von Segmenten benutzt, um so mehr da sein Schema den Angaben anderer Autoren, wie z. B. den angeführten von Heymons, nicht ganz entspricht. Es ist ferner zu berücksichtigen, dass Janet zu seinen Untersuchungen *Hymenopteren* als Grundlage dienten, Heymons und *mir* dagegen hauptsächlich niedere Insektengruppen.

Die verschiedenen Anschauungen lassen sich kurz folgendermafsen ausdrücken. Das *Oralstück* stellt nach Heymons *ein* Segment dar und ist *präoral* (dazu das Protocerebrum und die Ganglia optica), nach Janet besteht es aus *vier* Segmenten, welche alle eine *circumorale* Lage einnehmen sollen. Nach *meinen* Untersuchungen ist das *Oralstück präoral,* besteht aber aus *drei* Segmenten. Ich nehme somit eine *vermittelnde* Stellung ein zwischen den Anschauungen von Heymons und Janet, indem ich mit Ersterem hinsichtlich der präoralen Lage, mit Letzterem hinsichtlich der Zusammensetzung des Akron aus *mehr* als einem Segmente übereinstimme.

Nach meinen Untersuchungen bilden die präoralen Teile bei *Dermapteren* und anderen niederen Insektenordnungen, wenn wir von der Vorstellung des Insektenkörpers als eines *schlauchartigen Zylinders* ausgehen, den vordersten Abschnitt dieses Zylinders, welcher *vor* der an der Unterfläche eine Strecke hinter dem Vorderende befindlichen, also *ventral* und *postantepolar* gelegenen Mundöffnung sich befindet. Dieser vorderste, präorale Abschnitt des Körperschlauches ist bei niederen Insektengruppen, wie *Dermapteren, Oothecarien, Orthopteren* u. A. stark entwickelt, kann aber bei höheren Insekten oft mehr oder weniger verkümmern. So ist nach Janet's Darstellungen dieser präorale Körperabschnitt auch bei den *Ameisen* verkürzt und im Vergleich mit den *Dermapteren* stärker an den Pharynx gedrängt.

Die Vorstellung Janet's von den circumoralen Akronsegmenten erklärt sich hieraus, indem ich die betr. Verhältnisse für phylogenetisch

sekundäre ansehe. Dasselbe gilt auch für die von Janet recht klar geschilderte Oberlippe der Ameisen und deren Verhältnis zum Clypeus, Erscheinungen, welche beträchtlich von den entsprechenden bei *Dermapteren* und anderen niederen *Hexapoden* abweichen.

Von den vier Akron-Segmenten Janet's stimmt das 3. „Le somite clypéo-pharyngien" annähernd mit meiner Auffassung überein, während ich sein 1. und 2. „somite" nicht als solche anerkennen kann, nach dem was ich oben über das Schlundnervensystem sagte und nachdem ich weder Sklerite noch Muskeln für solche Segmente habe finden können. Andererseits ist es mir nicht recht klar, wieso in dem „somite du labre" (vergl. Janet's Taf. 6, Abb. 5) sowohl das Labrum als auch Frons und Augen enthalten sein sollen. Diese Auffassung erscheint auch in seinem Schema der Taf. 5 als gezwungen.

Für *Dermapteren* und verwandte niedere Hexapoden unterscheide ich *drei* Akronsegmente:

1. das Labrumsegment,
2. das clypeopharyngeale Segment,
3. das frontoocellare Segment.

Dass diese drei Abschnitte in einem besonderen Zusammenhange stehen, wird veranschaulicht durch die präoralen *Gerüste* und die *Muskeln,* welche wie namentlich Abb. 52 vorführt, von *Labrum, Clypeus* und *Frons* zugleich an jene abgehen. Dass die *Gerüste dem Labrum* angehören, geht daraus hervor, dass sie hauptsächlich an den Hinterecken dieses befestigt sind.

Dem *Labrumsegment* gehören also an: das dorsale Labrumsklerit, die ventrale Hypolabialhaut, die präoralen Gerüste, dorsoventrale Muskeln und die labralen Gerüstmuskeln (ilm Abb. 16, 17 und 52). Diese Teile bilden zusammen einen abgeplatteten, vorne geschlossenen Zylinder, der den vorderen Körperpol und den tatsächlichen vordersten Abschnitt des Körperschlauches bildet (*Vorderpolsegment*).

Dem *clypeopharyngealen* Segment gehören an: der dorsale Clypeus (Ante- und Postclypeus), die ventrale Hypoclypealhaut mit den Gaumenfeldern und der Epipharynxgrube, zwei Paar clypeale Gerüstmuskeln und die clypealen Epipharynxmuskeln (alle drei Paare mehr oder weniger dorsoventral verlaufend). Ausserdem geht vom Clypeus ein Paar Muskeln

(phm 1 Abb. 52) aus, welche schräg gegen die hintere ventrale Grenze dieses Segmentes ziehen und sich an den Pharynx heften (clypeopharyngeale Muskeln). Die seitlichen hinteren Grenzen dieses Segmentes werden auch durch die oberen Gelenkgruben für die Mandibeln bezeichnet.

Der grosse Depressor (lamr Abb. 52) und die frontalen Gerüstmuskeln (lam) sind *Brückenmuskeln,* welche dem clypeopharyngealen sowohl als auch frontoocellaren Segment angehören, deren Vorderenden aber gemeinsam die *Grenze* zwischen Labrumsegment und clypeopharyngealem anzeigen.

Das *frontoocellare Segment* ist bereits durch die genannten Brückenmuskeln als dem Vorderkopfe zugehörig charakterisiert. Sein dorsales Sklerit ist die *Frons.* Ventral wird es durch ein frontophayngeales Muskelpaar (phm Abb. 52) mit dem Schlunde verbunden, der überhaupt an der Bildung des Bodens dieses Segmentes teilnimmt. Im Übrigen ist gerade der Boden dieses Segmentes undeutlich, weil es mit den weiteren Kopfsegmenten verwachsen ist und seine pleuralen Bezirke meist durch die *Augen* eine besondere Auszeichnung erfahren haben. Dass Frons und Augen in einem segmentalen Zusammenhang stehen, lehrt einmal die embryologische Entwickelung und dann vergleichend-morphologisch, abgesehen von der Lage der Augen *neben* der Frons, das Auftreten von *Ocellen in* der Frons.[1]) (Bei *Machilis* liegen die Augen hinter der Frons und diese selbst befindet sich zwischen den drei Ocellen.)

Von *Dermapteren* wurden bisher keine Ocellen bekannt und andere Insektenordnungen verhalten sich hinsichtlich dieser höchst verschieden. Besonderer Wert darf jedenfalls auf *die Lage des unpaaren Ocellus* gelegt werden, aber am wichtigsten erscheint mir der Umstand, dass jenes Gebiet, welches ich bei *Dermapteren* als *Frons* auffasse, bei verschiedenen anderen Insektenordnungen *in zwei Teile zerfällt,* so z. B. bei den *Mantodeen,* wo dem vorderen Teile keine besondere Auszeichnungen zukommen, während *der hintere die drei Ocellen trägt.* Ausserdem werden durch die innen vor den grossen Augen stehenden *Fühler* die vordere und hintere Frons gegen-

[1]) Janet hat a. a. O. das Ocellenfeld irrtümlich als „vertex" bezeichnet, vergl. S. 61 „cette région ocellaire an appelle le vertex." Richtig ist es, die Syntergit-Region der Kiefersegmente, d. h. das Feld hinter der Frons als Vertex zu bezeichnen.

einander abgesetzt. Ich unterscheide daher *Antefrons* (oder *Frons genuina*) von der *Postfrons* (oder *Ocellenfrons*), beide zusammen bilden die *Totalfrons.* Als *Mantodeen-Beispiele* erwähne ich *Polypsilota,* deren Antefrons rings scharf begrenzt ist, während die Postfrons kaum eine Absetzung gegen den Vertex erfährt, *Theopompa* wo hinter der Ocellenfrons ein ⋎ homolog der betr. Naht der *Dermapteren* sichtbar ist, während zwischen den beiden Frontalbezirken, etwas unterhalb der Fühlergruben ein scharfkantiges Kissen auftritt und die Grenze anzeigt, *Amorphoscelis* und *Metalleutica* mit deutlicher und abgekürzter ⋎ Naht gegen die Mitte des inneren Augenrandes, während sich vorne eine abgekürzte Querfurche vor dem Vorderocellus befindet und *Mantis* wo die Ocellarfrons hinten nur schwach begrenzt ist, die Vorderfrons aber deutlich angezeigt.

Es liegt auf der Hand *dass die Teilung der Totalfrons in zwei hintereinander gelegene Abschnitte, eine sekundäre Ausgestaltung vorstellt, indem die Antefrons für die betr. Muskeln des Protocephalon bestimmt ist, die Postfrons für die Ocellen.*

Diese Verhältnisse sind also teilweise ähnlich dem Zerfall des *Clypeus* in Ante- und Postclypeus, wobei ich noch bemerken will, dass bei den *Dermapteren* hinsichtlich der Ausbildung des *Anteclypeus* nicht unbedeutende Verschiedenheiten angetroffen werden können.

Bei *Diplatys* sind Ante- und Postclypeus ungefähr gleich gross, der erstere ist völlig häutig und unbeborstet. Ebenso verhält sich *Echinosoma,* nur ist hier der Unterschied zwischen dem mit starken Borsten bewehrten Postclypeus und dem kahlen Anteclypeus besonders auffallend. *Pygidicrana* schliesst sich gleichfalls an, doch ist bemerkenswert, dass hier die seitlichen Drittel des Anteclypeus stärker chitinisiert sind als das mittlere. Bei *Apachyus* sind Ante- und Postclypeus erkennbar aber weniger gegeneinander abgegrenzt. *Allosthetus* ist bereits besprochen und wird durch die Abb. 11 erläutert, der Anteclypeus ist also merklich *grösser* als der Postclypeus, übrigens typisch borstenlos und pigmentarm. Ähnlich steht es mit *Karschiella, Labidura* und *Forficula.* Bei *F. auricularia* sind am Anteclypeus die Seiten und ein hinteres Dreieck der Mitte bräunlich pigmentiert, während sich vor dem Letzteren jederseits ein helles Dreieck befindet. Der Anteclypeus besitzt zierliche Zellstruktur aber sonst auch hier keine Tastborsten. — Bei

*Hemimerus,* wo kein Postclypeus erhalten ist, kann natürlich auch von Anteclypeus nicht die Rede sein.

Hinsichtlich des Auftretens der *Ocellen* bei anderen Insektengruppen erwähne ich noch die Copeognathen. Enderlein[1]) gibt in seiner Abb. 1 (Psocus), 60 h (Perientomum) und 62 c (Lepidopsocus) die paarigen Ocellen hinter, den unpaaren vor der hinteren Naht der „Stirn“ an. Seine Abb. 22 b und 21 f zeigen aber andere Verhältnisse, letztere alle *drei* Ocellen *vor* der Y Naht. Ob nun in dieser Hinsicht Verschiedenheiten in Bezug auf die Lage zur echten vertikofrontalen Naht vorliegen, oder ob, wie ich das von den *Mantodeen* angab, zweierlei leicht zu verwechselnde Nähte vorliegen, müssen weitere Untersuchungen lehren. (Vergleiche aber das Folgende!)

Packard[2]) gibt die Ocellen der *Neuropteren* und Verwandten, *Corydalis, Raphidia* und *Pteronarcys* so an, dass sie mit meiner Darlegung in Einklang stehen. So zeichnet er die drei Ocellen von *Pteronarcys vor* einer *gegen die Mitte des inneren Augenrandes* ziehenden, echten Y Naht in einer gut begrenzten *Postfrons.* H. J. Kolbe hat in seinem Handbuch „Einführung in die Kenntnis der Insekten“ 1889—93 auf S. 170—175 den Stirnaugen ein lesenswertes Kapitel gewidmet, auf das hier verwiesen sei. Er sagt „Punktaugen liegen zumeist zu dreien in der Stirn oder Scheitelgegend, meist aber zwischen den Augen.“

Tümpel hat in seiner „Monographie der Ordnung Thysanoptera“ Königgrätz 1895 eine Anzahl Abbildungen gegeben, welche die Stellung der drei Stirnaugen anzeigen, so z. B. auf seiner Taf. VII. Eine Y Naht scheint bei den *Thysanopteren,* die überhaupt im Ganzen eine schon ziemlich stark abgewichene Ordnung vorstellen, nicht mehr vorzukommen. Er gibt aber die Lage der Ocellen so an, dass, wenn diese Naht vorhanden wäre, die Ocellen eine typische Lage im *Frontal*bezirk einnehmen würden.

Diesen Beispielen von Ocellenvorkommnis könnten noch manche andere hinzugefügt werden. Ich begnüge mich aber damit festzustellen, dass *die Ocellen bei der grossen Mehrzahl, namentlich hemimetaboler Insekten ein Charakteristikum der Postfrons* bei zweiteiligem (oder der Frons über-

[1]) Die Copeognathen d. indo-austral. Faunengebietes. Budapest 1903.
[2]) The systematic position of the Orthoptera, 1883.

haupt bei einfachem) Frontalbezirk sind. Die Verhältnisse bei derivateren Insekten bedürfen um so mehr eines Vergleiches mit niederen Gruppen, je mehr die ursprünglichen Kopfnähte eine Rückbildung erfahren haben. Hinsichtlich der *Ephemerina* seien noch einige Notizen beigefügt, welche sich auf deren *Larven* beziehen: A. Vayssière hat in seinen „Recherches sur l'organisation des larves des Ephémérines“ Ann. d. sciences naturelles t. XIII Paris 1882 verschiedene Abbildungen gegeben, die uns hier interessieren, so ist in seiner Abb. 1 (*Leptophlebia*) und 30 (*Heptagenia*) die Lage der drei Ocellen ganz deutlich vor einer ⋎ Naht und hinter den Fühlern angegeben, ebenso in Abb. 58 (Oligoneuria), wo jedoch die hinteren beiden Ocellen der Naht anliegen. In Abb. 74 (*Ephemerella*) erscheinen sie *in* der Naht. Wenn dagegen in Abb. 21 (*Cloeopsis*) nur der vordere Ocellus vor, die beiden hinteren dagegen deutlich hinter der Naht liegend angegeben sind, so ist das unbedingt eine *sekundäre* Erscheinung. Dafür spricht auch der Umstand, dass dieselbe Ocellenlage in Abb. 98 von *Boetisca* und 104 von der Larve der *Prosopistoma* angegeben wird, Formen welche zu den derivatesten gehören, die überhaupt in der Ordnung der Ephemerinen bekannt sind, wie sowohl aus der starken Verwachsung namentlich der Thorakalsegmente hervorgeht, als auch aus der Concentration der Bauchmarkganglien. Solche abgeleiteten Formen habe ich ins Auge gefasst, wenn ich oben besonders die Wichtigkeit der Lage des *un*paaren Ocellus betonte.

*Zwischen* den drei präoralen Segmenten und den bereits im Vorigen geschilderten postoralen drei Kiefersegmenten befinden sich noch die ebenfalls schon erörterten, dem prämandibularen Segment zugewiesenen parastomatischen Teile und das *Antennensegment*.

Heymons sagt 1895 in seiner Arbeit über „die Segmentierung des Insektenkörpers“ auf S. 16:

„Ein ganz anderes Aussehen bietet das Antennensegment dar. Es macht den Eindruck, als ob das gesamte Bildungsmaterial, welches für dieses Segment zur Verfügung stand, bei der Entwickelung der Antennen aufgebraucht würde,“ .... „es erklärt sich dann auch, dass zur Entfaltung andersartiger Teile im Antennensegment nichts mehr erübrigt werden kann.“

Janet hat dagegen a. a. O. in Abb. 3 der Taf. 6 dem Antennensegment zwei ziemlich grosse dorsale Halb-Sklerite zugeteilt, welche in der Mitte

weit getrennt bleiben. Dieser Angabe Janet's schliesse ich mich entschieden an, da die oben beschriebenen *antennalen Basalstücke* offenkundig diesen von Janet angegebenen Teilen entsprechen. Janet hat ferner für das Antennensegment der Hymenopteren Tentoriumspangen in Anspruch genommen, welche ich mit den oben für *Dermapteren* angegebenen antennalen Tentorium-Armen vergleichen kann.

Hinsichtlich des *antennalen* Segmentes stimme ich also mit Janet im wesentlichen *überein*. Immerhin hatte Heymons in sofern Recht als die *Stammteile* des Antennensegmentes, im Vergleich mit anderen Körpersegmenten, eine sehr geringe Entwickelung zeigen.

Für den *Dermapteren-Kopf* ergibt sich nach meinen Untersuchungen folgende Übersicht:

| | | |
|---|---|---|
| *Protocephalon* | 1. *Labrumsegment* (Vorderpolsegment)<br>2. *Clypeo-Pharyngealsegment*<br>3. *Fronto-Ocellarsegment* | *Rhynchocephalon* |
| | [Präantennensegment fehlt] | |
| *Deuterocephalon* (Mesocephalon) | 4. *Antennensegment*<br>5. *Prämandibularsegment* | |
| *Tritocephalon* | 6. Mandibularsegment<br>7. Labiopodensegment<br>8. Maxillopodensegment. | |

## 12. Holodermaptera und Dermodermaptera.[1])

In N. 665 des zoolog. Anzeigers 1902 habe ich in meinem 1. Aufsatze über Dermapteren als Hauptgruppen derselben unterschieden die *Paradermaptera* (Apachyidae) und *Eudermaptera* (Diandria und Monandria). Diese

[1]) Neuerdings hat Krauss im zoolog. Anzeiger N. 676, Juli 1902 den Namen Dermaptera aus Prioritätsrücksichten geändert. Ich selbst halte eine strenge Durchführung der Priorität hinsichtlich der Arten und Gattungen zwar auch für geboten, für Familien und höhere Kategorieen aber nicht, da für derartig viel benutzte Bezeichnungen lediglich praktische und logische Erwägungen massgebend sein sollten. Dass infolge der Priorität ganz unsinnige Dinge beibehalten werden, ist bei der grossen Masse der Arten und Gattungen noch erträglich, hinsichtlich der viel mehr gebrauchten höheren Kategorieen kann ich mich solchem Verfahren nicht anschliessen. Den Namen Dermaptera im gebräuchlichem Sinne halte ich deshalb bei.

beiden (drei) Gruppen fasse ich jetzt zusammen als *Holodermaptera* mihi, indem ich diesen die *Dermodermaptera*[1]) allein gegenüberstelle.

Meine Mitteilungen und Untersuchungen über den Thorax und das Abdomen der *Dermapteren* liessen bereits keinen Zweifel mehr aufkommen, dass wir es in *Hemimerus* mit einer zwar recht eigenartigen, aber dennoch ganz ausgesprochenen *Dermapteren-Gattung* zu tun haben. Die vorliegende Arbeit über den Kopf der *Dermapteren* hat diesen Eindruck derartig verstärkt, dass in Zukunft weitere Versuche, diese Gruppe in irgend eine andere Insektenordnung einreihen zu wollen, ebenso unmöglich sind, wie es unwissenschaftlich sein würde, sie zu einer Separatordnung zu stempeln, unter Missachtung der zahlreichen aufgedeckten Beziehungen.

Folgende Merkmale des Kopfes sind den *Holodermaptera* und *Dermodermaptera gemeinsam:*

1. zapfenförmiges Podotelson an Labiopoden und Maxillopoden,
2. Gestalt und Abgrenzung von Mentum und Submentum,
3. die Trennung der Coxae labiales,
4. das Vorhandensein von Furculae labiales,
5. die einfachen Labiopoden-Coxomerite,
6. die Gliederung und Grössenverhältnisse der Maxillopodentaster,
7. der Bau der inneren Coxomerite der Maxillopoden,
8. die Verbindung des Hypopharynx mit den Labiopoden,
9. die Ausbildung der parastomatischen Balken,
10. der Verlauf der Wangen,
11. der Bau und die Artikulation der Mandibeln,
12. Gestalt, Lage und Muskeln des Labium,
13. die Ausbildung präoraler, endoskelettaler Gerüste,
14. Bau und Muskulatur des Antennenschaftes,
15. die Verbindung des Hinterkopfes mit dem Thorax,
16. Gestalt des Tentorium und Verbindung mit der Kopfkapsel.

---

[1]) Vergl. Über die verwandtschaftliche Stellung von Hemimerus. Sitz. Ber. d. Gesellsch. nat. Fr. Berlin 1902, N. 4.

* * *

Die namhaftesten *Unterschiede* im Bau des Kopfes der *Holodermaptera* und *Dermodermaptera* möge durch eine Gegenüberstellung veranschaulicht werden:

| *Holodermaptera* mihi | *Dermodermaptera* Verh. 1902 |
|---|---|
| Kopf hinten eingeschnürt, dadurch gegen den Thorax auch äusserlich stark abgesetzt. | Kopf hinten auffallend verbreitert, dadurch breit an den Thorax angelehnt. |
| Augen stets deutlich entwickelt, aber keine Ocellen. | Augen sowohl als auch Ocellen *fehlen* vollständig. |
| Clypeofrontale und vertikofrontale Nähte, sowie Sagittalnaht des Vertex mehr oder weniger deutlich entwickelt. | Diese Nähte *fehlen* vollständig. |
| Das 2. und 3. Glied der Telopodite der Labiopoden sind länglich und reichlich beborstet. | Das 2. und 3. Labiopoden-Telopoditglied gedrungen und schwach beborstet. |
| Innere Balken des Hypopharynx und parastomatische Balken getrennt, Nebenzungenlappen schwach. | Innere Balken des Hypopharynx und parastomatische Balken innen verbunden, Nebenzungenlappen stärker. |
| Coxomerite der Maxillopoden stets länglich, mehr oder weniger sichelförmig. | Coxomerite der Maxillopoden gerade, kurz und gedrungen. |
| Maxillopoden-Telopodite nach innen gebogen, namentlich Tibia und Tarsus reichlich beborstet. | Maxillopoden-Telopodite steif nach aussen zurückgebogen, alle Glieder nur spärlich beborstet. |
| Zungenbürsten und Gaumenfelder deutlich ausgebildet, präorale Gerüste mit mehreren Fortsätzen. | Zungenbürsten fehlen, Gaumenfelder sind nicht ausgeprägt, präorale Gerüste sind vorhanden, entbehren aber der Fortsätze. |

Die meisten dieser abweichenden *Hemimerus*-Charaktere sind ausgesprochen abgeleiteter (derivater) Natur und erscheinen als *Anpassungen an die dermophile Lebensweise* dieser Tiere. Der hinten verbreiterte und dicht an den Thorax gedrückte Kopf z. B. kommt in geradezu erstaunlich ähnlichem Habitus bei der zu den *Coleopteren* gerechneten, merkwürdigen

Gattung *Platypsyllus* wieder vor, *ohne* dass ich aber damit irgend eine Verwandtschaft mit dieser Form andeuten will. Die präoralen Gerüste erinnern so sehr an den Grundzug der Gerüste bei den *Holodermaptera,* dass die Annahme, diese Tiere stammten ab von solchen mit vollkommeneren Gerüsten, nichts Bedenkliches in sich schliesst. Wie sehr der Bau des Thorax und Abdomen der *Hemimerus* auf die *Holodermaptera* verweist, habe ich schon anderweitig ausgeführt. Auch die Gestalt der Cerci bietet nichts Wunderbares, nachdem mehrere Gattungen der *Holodermaptera* bekannt sind, deren Larven gegliederte Cerci besitzen und nachdem ich Nymphen nachgewiesen habe (*Bormansia*), welche einen Übergang zwischen gegliederten und ungegliederten Cercustelopoditen darstellen. Überhaupt sind die *Hemimerus*-Cerci lediglich *pseudoannulate* aus der gedrungenen Zangenform in die längliche *Stabform* übergeführte Cercustelopodite.

*Die Hemimerus* sind also meinen Untersuchungen zufolge eine unzweifelhafte *Dermapteren*-Gruppe, welche aber, in Folge ihrer ganz isolierten Lebensweise, so stark von dem Typus sonstiger *Dermapteren* abgewichen ist, dass wir sie als Vertreter einer besonderen Hauptuntergruppe (Unterordnung) aufzuführen, Veranlassung haben. Diese Auffassung ist um so berechtigter, als sich unter den *Familien* der *Holodermaptera* keine befindet, welche besonders nahe Beziehungen zu *Hemimerus* aufwiese, d. h. also wir können die *Hemimerus* zwar auf die *Dermapteren* im *allgemeinen* zurückführen, nicht aber auf irgend eine bestimmte der lebenden *Familien.*

## 13. Frühere Beobachtungen über den Dermapteren-Kopf.

Für diese Untersuchung ist es ganz zwecklos auf die zahlreichen kurzen Angaben namentlich aus der Zeit vor 1870 einzugehen, da sie kaum etwas anderes bringen als das Auffälligste was jeder Beobachter mit einer Lupe ohne weiteres sehen kann. Unter denen, welche sich näher mit dem *Dermapteren*-Kopfe beschäftigt haben, ist zuerst J. Muhr zu erwähnen, welcher schrieb über „die Mundteile der Orthoptera, ein Beitrag zur vergleichenden Anatomie“ Jahr.-Ber. d. naturhist. Vereins Lotos, Prag 1876, S. 40—71 mit 8 Tafeln. Abb. 1—4 ist *Forficula minor* gewidmet und Abb. 1 lässt u. A. das Podotelson der Maxillopoden, Abb. 4 das der Labiopoden deutlich erkennen. Er nennt diese Teile „Taststäbchen“. Die Insertion

der Unterkiefer neben der „Kehle“ ist ziemlich richtig angegeben. Zwischen dem „Stamm“ der „Lippenkiefer“ und dem *Coxomerit* ist ein deutliches Telocoxit angezeigt.

Muhr sagt auf S. 41: „Will man sich einen genauen Einblick in das Wesen der Bildung der Mundteile verschaffen, so wird man die Mundteile der beissenden Insekten zum Ausgangspunkte wählen müssen, *weil* bei ihnen die einzelnen Teile nicht bloss eine grössere Regelmässigkeit der Formen zeigen, sondern auch freier nebeneinander stehen.“ Diese Begründung befriedigt uns heute nicht mehr, aber es ist interessant festzustellen, dass auch sie schon im Wesentlichen richtig war und dass man auf den richtigen Weg auch schon durch andere Gesichtspunkte geleitet werden konnte als diejenigen, welche uns jetzt tiefer in die Gegenstände hineinführen, namentlich also die Zusammenfassung physiologisch verschiedenartiger Gebilde unter einen einheitlichen vergleichend-morphologischen Gesichtspunkt (Kiefer, Beine, Gliedmassen). Erstaunlich ist es jedoch, dass Muhr einerseits schreibt: „Unterlag es zunächst keiner besonderen Schwierigkeit, die Identität der Mandibeln und Maxillen mit den Gliedmassen des *Thorax* darzutun, so gelang es der fortschreitenden Forschung auch die Unterlippe auf ein Kieferpaar zurückzuführen, das allerdings um des besonderen Zweckes willen Modifikationen erfahren hat. Diese Beziehung wurde von Oken, Savigny und Leach erkannt. Auch Erichson teilt diese Anschauung, wenn auch mit einigen wesentlichen Abweichungen“ — während andererseits von ihm kein Versuch gemacht wird, die ausgesprochene Ansicht einer näheren Beziehung zwischen „den Gliedmassen des Thorax“ und den „Kieferpaaren“ nun auch tatsächlich an den einzelnen Bestandteilen der Gliedmassen exakt nachzuweisen.

Die oft ventilierte Hypothese, die Oberlippe mit Gliedmassen in Beziehung zu bringen, hat auch Muhr richtig zurückgewiesen.

Auf S. 48—52 behandelt er speziell die *Dermapteren* und betont schon die Zusammensetzung der Maxillopodenstämme „aus vier Stücken.“ Auch die Stachelborsten der inneren Coxomerite beschreibt er,[1]) Burmeister

[1]) Wenn Muhr behauptet, diese Stacheln gingen ab, wenn man „Präparate in starker Kalilauge“ kochte, so ist das unrichtig und zeugt von ungeschickter Behandlung der Objekte. Es tritt das nur dann ein, wenn das betr. Objekt aus der Laugenmasse herauskommt und an einer heissen Glasstelle haftet.

berichtigend. S. 43 behauptet Muhr dass „die Innenlade mit dem Stamme fest verwachsen“ sei, während er die „Aussenlade“ richtig als „beweglich eingefügt“ angibt, sogar ihre Zusammensetzung „aus zwei Gliedern, von denen das Basalglied sehr kurz ist,“ erkannt hat. Die Taster beschreibt er als sitzend auf der „Tasterschuppe“. Von dem „stabförmigen Organ“ der Maxillentaster sagt er, dass an seiner „Spitze selbst wieder zahlreiche, aber äusserst feine Stäbchen wahrnehmbar werden,“ offenbar eine Verwechselung mit den Labiopoden. Dagegen kann ihm beigestimmt werden, dass es „ein spezifisches Tastorgan“ vorstellt. Für die Labiopoden beschreibt er „zweigliedrige Laden,“ weil er die Telocoxite für besondere Ladenglieder ansah. Richtig betont er die „einfachen Laden der Unterlippe“ als eine Eigentümlichkeit der *Dermapteren* und sagt ferner: „Gerstäcker erklärt dies Verhältnis durch Verwachsung der Laden jeder Seite. Ich vermag in ihnen nur die *äusseren* Laden zu erkennen und lasse mich hierbei von der Tatsache leiten, dass wir unter den Saltatoria wirklich Familien finden, bei denen die inneren Laden gegen die äusseren nicht bloss zurückbleiben, sondern selbst verschwindend klein werden können, wie bei manchen Arten der Acridioidea. Den umgekehrten Fall dagegen demonstriert uns die Natur nicht.“

Mit diesen Vergleichen hatte Muhr gewiss Recht, aber dass ich den daraus gezogenen Schluss nicht teile, vielmehr mich Gerstäckers Auffassung nähere, habe ich oben besprochen.

Während G. die Laden für sekundär verwachsen ansieht, betrachte ich sie als primär unzerteilt. Hinsichtlich des *Hypopharynx* ist Muhr sehr im Unklaren geblieben. Er sagt: „Zwischen den Laden bemerkt man noch ein häutiges Organ, das mit einem dreilappigen Rande endet. Vor der Mitte jeder Seite tritt eine Chitinleiste nach innen, um dem Ganzen mehr Festigkeit zu geben. Dasselbe (?) ist das vordere frei gewordene Ende des Oesophagus, das wir als Zunge bezeichnen.“ S. 43 heisst es: „Das an der Kehle eingelenkte erste Stück (submentum Newp., support Savigny, fulcrum Kirby) ist eine verschieden gestaltete Platte, gewöhnlich der am meisten chitinisierte Teil des ganzen Apparats. Erichson nennt dasselbe Kinn (mentum) welche Bezeichnung auch wir künftig anwenden wollen.“ Kann man diesem beistimmen, so stellt es sich als total falsch heraus, wenn er

fortfährt: „die obere Seite (des Mentum) wird von der unteren Wand des vorderen Endes des Oesophagus bekleidet, während die obere Wand sich an die Oberlippe anheftet.“ Weiterhin spricht er von Savignys Epipharynx, scheint aber selbst von dem ganzen Epipharyngeal-Apparat der Ohrwürmer nichts gesehen zu haben.

Muhr betont Erichsons Anschauung, dass das „Kinn (mentum) und die Zunge (ligula) mit einem Kieferpaar nichts gemein haben,“ was ganz richtig ist. Aber umso merkwürdiger erscheint es dann, dass Erichson die Unterlippenladen der *Orthopteren* s. lat. für Aequivalente der Zunge der *Coleopteren* u. A. gehalten hat.

Nach Muhr ist „das Mentum ein der Oberlippe analoger Teil und es wird dann der ganze an den Vorderrand sich anschliessende Abschnitt (mit Ausschluss der ligula) einem Kieferpaar entsprechen.“

In Wirklichkeit lassen sich *Labrum* und *Mentum* morphologisch nicht in Parallele setzen und selbst physiologisch währe der Vergleich unzutreffend.

(Kopfkapsel, Tentorium, Antennen, Hinterkopf und Muskulatur hat Muhr nicht behandelt.)

A. S. Packard bringt über den *Dermapteren*-Kopf in seiner „Systematic Position of the Orthoptera“ 1883 nichts Neues, doch sei verwiesen auf seine erste Tafel. Die dortige N. 1 lässt für Forficula taeniata eine unrichtige Darstellung der sagittalen Naht des Oberkopfes erkennen.

M. Wolter gibt in seiner Arbeit über „die Mundbildung der Orthopteren“ Diss. Greifswald 1883, in Abb. 36—42 Darstellungen zu *Forficula auricularia*, welche gegenüber Muhrs Abhandlung ebenfalls nichts Neues enthalten. Er behauptet auf S. 1 dass an den Mandibeln bei *Forficula* eine „Reibeplatte“ zu „bedeutender Entwickelung gelangt“ sei, was ich nicht bestätigen kann. Wolters Aufsatz ist für *Ephemerinen* entschieden wertvoll, aber in allgemeiner theoretischer Hinsicht enthält er kaum etwas für die niederen Gruppen terrestrischer *Hexapoden* Bedeutsames, es seien denn die Mitteilungen über die Trennung und Vereinigung der Laden.

Die Gattung *Hemimerus* wurde 1871 von F. Walker „indiqué plutôt que décrit“ um mich der Worte H. Saussures zu bedienen, ausserdem hat Walker sie fälschlich unter die *Gryllotalpiden* gestellt.

H. de Saussure[1]) erst gab uns eine wirkliche Beschreibung dieser merkwürdigen Gruppe und schuf für sie die „Ordo *Diploglossata,*“ die allerdings hinfällig ist, da sie ihre Entstehung einem grossen Irrtum verdankt, den er ausdrückte mit: „Labia *2* superposita, utrumqne palpis *2,* Lingua transversa brevissima, vix ulla,“ d. h. also er schrieb irrtümlich dem Hypopharynx ebenfalls Taster zu und dieser Irrtum (vergl. auch in Kolbes Handbuch S. 213 und 214) war von nicht geringem Einfluss auf Hypopharynxdeutungen mancher anderer Hexapoden-Gruppen. — Auch sonst enthält der Aufsatz Saussures Verschiedenes, was sich nicht als stichhaltig erwies, so erscheint es z. B. als wären Mentum und Submentum verwachsen und als käme an den Tastern kein Podotelson vor. Trotzdem gebührt S. das Verdienst, zuerst nachdrücklich auf die merkwürdigen *Hemimerus* hingewiesen zu haben.

1894 hat Hansens Arbeit „On the Structure and Habits of Hemimerus talpoides Walk.“ Entomologisk Tidskrift S. 65—93, mit zwei Tafeln, die eben genannten Irrtümer berichtigt und auch sonst unsere Kenntnisse wesentlich bereichert, namentlich auch hinsichtlich der merkwürdigen Lebensgeschichte, der Erzeugung lebendiger Jungen und des Lebens auf Nagern. Hansen bringt zum ersten Male für Dermapteren eine richtige Darstellung des Hypopharynx und auch der parastomatischen Balken, deren Verbindung nach der Mitte zu er ebenfalls erkannt hat. Wenn er dagegen die Nebenzungen, die doch lediglich häutige Läppchen vorstellen, „maxillulae“ nennt, so kann ich ihm auf derartig weitgehend-hypothetischem Wege nicht folgen. Über Kopfnähte, Endoskelett des Kopfes, Hinterkopf und Muskulatur hat Hansen keine Untersuchungen vorgenommen. Auch die präoralen Gerüste finde ich nicht erwähnt. Zu berichtigen ist, dass er die Cardines der Maxillen als einfach angegeben hat, während sie wie bei allen anderen *Dermapteren* zweiteilig sind (Vergl. meine Abb. 37). Zum ersten Male hat Hansen den unteren Condylus der *Dermapteren*-Mandibeln an den Backen angegeben, während der obere nicht klar zum Ausdruck kommt. — Über anderweitige Mitteilungen Hansens habe ich schon teils oben teils früher Stellung genommen.

---

[1]) Specilegia entomologica Genavensia. 1. Genre Hemimerus, Genf 1879.

Aus neueren Handbüchern wüsste ich nichts Einschlägiges von Bedeutung zu berichten, möchte aber doch feststellen, dass es bedauerlich erscheint, wenn in einem Buche wie R. Tümpels „Geradflügler Mitteleuropas“ Eisenach 1901, die Ohrwürmer so dürftig behandelt werden wie auf S. 166—168. (Von den Antennen heisst es, dass sie eine Gliederzahl „zwischen 12 und 30“ besässen.) Freilich kommen in diesem Buche noch viel ärgere Dinge vor.

Wenn man an de Bormans Bearbeitung der Dermapteren für das „Tierreich“ 11. Lief. Berlin 1900 auch keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Kopfmorphologie stellen will, so hätten doch jedenfalls die *Taststäbchen* (Podotelsons) beider Maxillenpalpen genannt werden müssen; es geschah das aber weder von de Bormans noch von H. Krauss. Diese Gebilde blieben aber auch Börner unbekannt, welcher sich in einem Aufsatze „über Mundgliedmassen der *Opisthogoneata*“ Sitz.-Ber. Ges. nat. Fr. Berlin 1903, S. 58—74 eigens mit den Maxillenpaaren der Insekten beschäftigt hat. Wenn er auf S. 64 schreibt: „Ein Klauenglied fehlt völlig und, es scheint dies überhaupt an den Tastern der beiden Maxillen der *Hexapoden nicht* mehr vorzukommen,“ so ist das eben nur soweit richtig, als damit typische Krallen im gewöhnlichen Sinne gemeint werden, die ihre Sehnen und Muskeln besitzen. Für die Endgebilde der Telopodite beider Maxillenpaare ergibt sich also besonders deutlich die Notwendigkeit einer ganz allgemeinen Bezeichnung, wie ich sie durch *Podotelson* gegeben habe.

## B) Der Machiliden-Kopf.

Eine der schon ihrem Habitus, d. h. also ihrer allgemeinen Erscheinung nach auffälligsten und eigentümlichsten Insekten-Gruppen ist unstreitig die Gattung *Machilis*. Unter den *Apterygogenea* können zum Vergleiche mit den im vorigen erörterten *Dermapteren* zunächst nur die *Ectotropha* in Betracht kommen, da der Kopf und namentlich die Mundteile der *Entotropha* und *Collembola* unverkennbaren, mehr oder weniger starken Rückbildungen und Umbildungen unterworfen worden sind. Übrigens habe ich die Kopfmorphologie der *Japygiden* kürzlich in einer Arbeit über diese Gruppe teilweise behandelt und kann darauf verweisen. (Archiv für Naturgeschichte, Berlin 1904.)

Unter den *Ectotropha* sind die *Machiliden* im Vergleich mit den niederen *Pterygoten* durchschnittlich die eigenartigere und am stärksten abweichende Gruppe, daher auch zu einem Vergleiche besonders interessant. Die *Lepismiden*-Köpfe habe ich ebenfalls bereits einer vorläufigen Untersuchung unterzogen, hoffe aber später darauf in einer anderen Arbeit näher eingehen zu können.

Nähere Mitteilungen über den Kopf von *Machilis* erschienen mir ausserdem wünschenswert, weil mir eine ausreichende Zahl gut in Alkohol konservierter Objekte zur Verfügung stand und eine ganze Reihe neuer Organisationsverhältnisse bekannt wurden, die sowohl an und für sich, als auch im Vergleich mit anderen Gruppen besonderes Interesse beanspruchen dürfen.

Die diesem Aufsatz zu Grunde liegenden Objekte wurden von mir und meiner Frau, deren Unterstützung ich dankbar gedenke, teils im rheinischen Siebengebirge, teils in Südtirol gesammelt. Auf die systematischen Fragen werde ich in einem anderen Aufsatze näher eingehen.

## 1. Die Kopfkapsel.

Der Kopf von *Machilis* ist namentlich vorne auffallend schmal. Der Hinterkopf wird vom Pronotum kapuzenartig überdeckt, das vorn abgerundete Labrum ist halb so lang wie der Clypeus und deutlich gegen diesen abgesetzt. Der Clypeus ist einheitlich, d. h. er zerfällt nicht in zwei Abschnitte, wie ich es oben von den *Dermapteren* schilderte. Eine abgekürzte kleine und feine Querfurche (x Abb. 66), welche vor der Mitte auftritt, ist das Einzige, was man als Andeutung einer Clypeusteilung auffassen könnte. Halbwüchsige, *jugendliche* Stücke von *Machilis* unterscheiden sich in der Bildung der Kopfkapsel so auffallend von den Erwachsenen, dass ich zunächst hierauf eingehen muss.[1])

Bekanntlich sind die beiden hinteren der drei Ocellen von *erwachsenen Machilis* durch ihre ganz auffallend in die Quere gestreckte, annähernd bisquittförmige Gestalt ausgezeichnet, wie anbei auch aus Abb. 62 ocl 2 ersichtlich ist, während der vordere, unpaare Ocellus eine ovale, also weit weniger auffallende Gestalt zeigt. Bei *jungen Machilis* dagegen (Abb. 66), sind die seitlichen Ocellen oval, der vordere ist rundlich, auch haben die hinteren eine verhältlich geringere Grösse. Nicht minder auffallend aber ist die Beschaffenheit des zwischen den drei Ocellen liegenden Gebietes, indem dasselbe bei Erwachsenen schmal und annähernd rechteckig gestaltet ist, dabei länger als breit, während den Jungen ein dreieckiges, nach vorne verschmälertes Feld zukommt, welches etwas breiter ist als lang. Zwei weitere auffallende Unterschiede betreffen die Facettenaugen und Antennen. Bei den Erwachsenen stehen nämlich die Antennen auf einem unregelmässig zylinderartigen Hügel, der von vorne fast wie ein Glied der Antennen selbst aussieht und vorne ungefähr die halbe Länge des Antennenschaftes ausmacht.

---

[1]) In der Literatur fand ich hierüber nichts, daher ist es nicht unwahrscheinlich, dass verschiedene als Arten beschriebene Formen nur Entwickelungsstadien vorstellen.

Dieses Gebilde, welches hinten kürzer ist und weniger aus der Kopfwölbung hervorragt, nenne ich *Antennenlophos* (lph). Die Antennengrube liegt also im Ende des vorragenden Antennenlophos und dieser selbst ist am Grunde gegen den Kopf abgesetzt, bildet aber kein Gelenk mit ihm. Bei den *Jungen* sind nun die Antennenlophoi noch schwach entwickelt und ragen wenig vor, sodass sie kaum $^1/_4$ des Antennenschaftes ausmachen. Die Facettenaugen stossen auch schon bei den Jungen breit aneinander, aber doch auf merklich kürzerer Strecke als bei den Erwachsenen. Überhaupt sind die Facettenaugen der Jungen weit mehr in die Quere ausgedehnt. Das Feld zwischen den Ocellen besitzt immer eine feine Längsnaht, den Jungen kommt aber ausserdem noch eine nach den Seiten abgekürzte, vor der Mitte befindliche Querfurche zu. *Hinter* den Facettenaugen liegt bis zum Hinterkopfrande nur noch ein ziemlich kleines, dreieckiges Feld, welches bei den Jungen ebenfalls stark in die Quere gedehnt ist (Abb. 66), bei den Erwachsenen dagegen gedrungen (Abb. 56 und 62). — Die Lage der grossen Facettenaugen ist eine im Vergleich zu den meisten anderen Insekten, jedenfalls gegenüber allen anderen *Apterygoten* und gegenüber *Dermapteren*, *Oothecarien*, *Isopteren* und *Corrodentien*, ganz ungewöhnliche, sodass man zur Annahme einer Wanderung von den Seiten nach der Rückenmitte im Laufe der phylogenetischen Entwickelung veranlasst wird. Die Unterschiede zwischen Jungen und Erwachsenen bestätigen diese Annahme, denn bei Ersteren liegen die Facettenaugen sowohl als auch die hinteren Ocellen noch mehr auswärts. *Die Wanderung der Augen von aussen gegen die Mediane* hat auch die Zusammendrängung des Gebietes zwischen den drei Ocellen bewirkt und die Empordrängung der Antennenlophoi. Die abgekürzte Querfurche (Abb. 66 yi) ist bei den Erwachsenen verschwunden. Dass diese mit den Seitenästen der $\curlyvee$ Naht der *Dermapteren* nichts zu tun hat, zeigt sowohl ihre Lage weit vor den Augen, als auch der Umstand, dass es wirklich nur eine Querfurche ist und keine Naht. Es kommen hinter und teilweise ausserhalb der Facettenaugen *Leisten* vor (Abb. 56 und 62 gel), welche schräg von innen hinten (hinter den Augen) nach vorne aussen ziehen und den Seitenrand der Kopfkapsel nicht ganz erreichen. Nähte sind dies nicht, sondern Kanten, welche den *Wangenleisten* homolog sind, welche ich oben von *Dermapteren* (und *Periplaneta*) beschrieben habe, denn ihr Verlauf

und Anordnung stimmt im wesentlichen mit dem jener überein, indem sie vorne in der Gegend der Mandibulargelenke (Abb. 62 gr) beginnen und schräg nach hinten hinter den Vertexbezirk ziehen, wo sich der Oberrand des Hinterhauptloches befindet, das hier eine ganz ungewöhnliche *Weite* besitzt, weil eine Absetzung des Kopfes gegen den Rumpf im Sinne typischer Insekten noch nicht besteht. Ein echtes *Occiput* fehlt also vollständig. Als *Frons* betrachte ich das Gebiet zwischen den drei Ocellen.

Bei der Wanderung der Facettenaugen gegen die Mediane sind *Frons und Vertex gerade durch diese Augen getrennt worden* (Abb. 66 D x und E). Wollte man annehmen, dass das dreieckige Gebiet hinter den Augen (E Abb. 62 und 66) auch zum Frons gehörte, also ein Postfrons wäre, so würde ein Vertex vollständig fehlen, was unwahrscheinlich erscheinen muss. Ausserdem besitzt der dreieckige Vertexbezirk eine namentlich bei den Jungen deutliche, wenn auch feine Sagittalnaht als hinteren Arm einer Y Naht, deren Vorderäste durch die Ausdehnung der Facettenaugen vollkommen verdrängt worden sind. Man kann ferner auch nicht von Ante- und Postfrons im Sinne der oben besprochenen *Mantodeen* reden, denn bei diesen enthält der *Postfrons die Ocellen*, während bei *Machilis* gerade umgekehrt die Ocellen im Frontalbezirk *vor* den Hauptaugen liegen, was ebenfalls dafür spricht, dass die Facettenaugen den *Frons* hinten abschliessend begrenzen. Ebenso spricht dafür der Umstand, dass ein Teil der an das Hinterhaupt ziehenden Muskeln sich an die *Wangenleisten* befestigt, was doch nicht möglich wäre, wenn dieselben die hintere Grenze des Frontalbezirkes bildeten.

Hinter denjenigen Strecken der Wangenleisten, welche sich ausserhalb der Augen nach vorne und unten richten, befindet sich ein dreieckiges Gebiet (Abb. 62 geh), welches nach innen mit schmalem Zipfel ausläuft und vorne, dadurch dass die Wangenleiste nicht den Seitenrand der Kopfkapsel erreicht, in einen Bezirk übergeht, den ich *Subocularfeld* nenne, ausgezeichnet durch einen *Subocularlappen* sol, dessen Schüppcheninsertionsporen in den Abb. 56 und 62 angezeigt sind. Der leicht gebogene Seitenrand aussen und unter dem Ende der Wangenleiste ist also *der Aussenrand der Kopfkapsel.*

Unter demselben, nach innen eingeschlagen befindet sich das vordere *Wangengebiet* (gena), welches bei *Machilis* sehr *schwach* entwickelt ist, als

wichtiges Merkmal aber eine in der Tiefe kräftig chitinisierte Grube besitzt (gr), welche nach vorne und aussen geöffnet ist. Bisweilen sieht man diese Grube, welche mit der *Mandibel* deren *einziges Gelenk* bildet (Abb. 70), auch schon von oben durchschimmern und man bemerkt sie dann etwas vor dem Ende der Wangenleiste.

An der eigentümlichen Kopfkapsel von *Machilis* kommt also ein das Hinterhauptloch bildendes, hufeisenförmig bis halbkreisähnlich oben und seitwärts dasselbe umgebendes Occiput im Sinne der Dermapteren nicht vor. Im Zusammenhang mit dem beschriebenen weiten Offensein des Hinterkofes haben auch die Wangen die geschilderte eigentümliche Beschaffenheit und *zerfallen in zwei scharf getrennte Teile, Vorder- und Hinterwangen.* Die *Vorderwangen* (genae anteriores) sind klein und liegen versteckt und nach innen gebogen unter dem Subocularlappen. Sie bilden wie schon geschildert hauptsächlich die Gelenkgrube für die Mandibeln (Abb. 62 gr). Ganz *getrennt* von ihnen liegen die *hinteren Wangen* (genae posteriores), welche sich als Dreiecke (geh Abb. 62) aussen hinter den Wangenleisten befinden, hinten eingebuchtet sind und aussen unten hinter der Bucht zapfenartig vortreten. An den Hinterrand dieser Hinterwangen befestigen sich verschiedene vom Prothorax kommende Hinterkopfmuskeln. Schliesslich fragt es sich noch, was es mit dem *Subocularfeld,* welches sich aussen vom Clypeus und den Facettenaugen und vor den äusseren Strecken der Wangenleisten befindet, für eine Bewandtnis hat (Abb. 62 sol).

Man sieht aus Abb. 56, dass das *Subocularfeld* durch einen schmalen Streifen hinter den Augen mit dem *Vertexbezirk* zusammenhängt. Da nun bei den *Jungen* der Clypeus, wie oben geschildert, durch die hinteren Nebenaugen ziemlich scharf vom Subocularfeld abgesetzt ist, so kann der Mangel einer derartigen scharfen Grenze bei den Erwachsenen als sekundäre Erscheinung betrachtet werden. Deshalb ist aber auch die Auffassung des *Subocularfeldes als eines lateralen, durch die Wanderung der Facettenaugen gegen die Mediane erzeugten Vertexgebietes* gestattet. Da die *Subocularfelder* zusammen aber wesentlich grösser sind als der dorsale eigentliche Vertex, so kann man ausser der Augenwanderung auch noch ein mehr als sonst zum Ausdruck kommendes *embryonales* Verhalten in Betracht ziehen, indem die aus zwei Seitenteilen embryonal zusammenwachsenden Tergite hier mit

dem grösseren Teile ihres Bestandes in den Seiten zurückblieben und nur der kleinere Teil in der Mediane zusammenwuchs.

Am *Tritocephalon* von *Machilis* haben wir es, von den Maxillopoden-cardines abgesehen, mit *drei getrennten pleuralen Bildungen* zu tun,

1. *den Vorderwangen,*
2. *den Hinterwangen,*
3. *den maxillaren Seitenstücken.*

(Die Letzteren sst Abb. 56 wurden im 3. und 6. Kapitel erörtert.)

Diese drei *Pleuralteile* lassen sich den drei gnathalen Segmenten zustellen, die Vorderwangen dem Mandibularsegment, die Hinterwangen dem Labiopodensegment, die Seitenstücke dem Maxillopodensegment. Nur an letzterem lassen sich diese Pleuralteile mit Sicherheit als *ecoxale* erklären, weil sie den im 5. Kapitel erörterten, zugehörigen *cocoxalen* (Cardines) benachbart liegen. Bei dem Labiopoden- und Mandibularsegment ist über cocoxale Pleuren nichts Sicheres mehr festzustellen.

Die geschilderten Pleuralgebilde vom *Tritoceyhalon* der *Microcoryphia* gestatten auch, uns eine ungefähre Vorstellung zu bilden, wie aus dem primitiven Kopfe von *Machilis* Köpfe mit einem zusammenhängenden Wangenteil, einem Posteranium constrictum und einem Sinus maxillaris sich haben entwickeln können. Der Vertexbezirk im engeren Sinne musste mit den Subocularfeldern sich breiter vereinigen, ausdehnen und hinten einschnüren. Mit dieser Einschnürung mussten durch stärkeres Aneinanderrücken die Hinterwangen in Verbindung treten, wobei die maxillaren Seitenstücke mehr zurücktraten. Die Vorderwangen vergrösserten sich und verwuchsen nicht nur mit den Hinterwangen, sondern erhielten auch festen Anschluss an *Seitenlappen des Clypeus*. Diese dienten, nachdem sich an den Hinterecken des Clypeus *ein zweites mandibulares Gelenk* entwickelte (*Dicondylia*) als elastische, durch eine Naht abgesetzte Widerlager.

Diese *mandibularen Basalstücke* (vergl. oben bei *Dermapteren*) *sind mithin eine Begleiterscheinung des Auftretens eines zweiten* (oberen) *Mandibulargelenkes und gehören zum Protocephalon.*

In dem Mafse wie ein abschüssiges, eingeschnürtes und gegen den Rumpf stärker abgesetztes Hinterhauptgebiet zur Ausbildung gelangte, mussten auch schwächere oder stärkere *Gelenkknöpfe am Hinterhaupt* auftreten.

## 2. Die Kehlteile.

Auch an der Bauchfläche sitzt der Kopf dem Thorax verhältlich dicht an, was z. T. mit der genannten dorsalen Kapuzenbildung, z. T. mit der Verkümmerung des Mikrothorax zusammenhängt, worauf ich schon früher kurz eingegangen bin. (Über den Thorax der Insekten, Nova Acta 1902.) Das gesamte Hautskelett von *Machilis* und den *Apterygoten* überhaupt zeichnet sich vor dem der meisten Pterygoten durch seine grosse *Zartheit* aus. Dies gilt auch für das bei den Pterygoten oft so kräftig entwickelte *Mentum,* indem es bei *Machilis* eine reichlich beborstete (beschuppte) im Übrigen aber ziemlich zarte Kehlpartie vorstellt. Es trägt vorne die Labiopoden (Abb. 55 und 57), welche von ihm nicht durch eine so auffallende Haut getrennt sind wie bei den *Dermapteren,* weil schon das Hautskelett hautartiger ist. Vorne ist das *Mentum* im Bogen zugerundet, ebenfalls an den Seiten. Nach hinten verbreitert es sich allmählich. Ein so einfach abgegrenztes *Submentum* wie bei den *Dermapteren* finden wir bei *Machilis* nicht, denn eine einheitlich durchlaufende Quernaht gibt es überhaupt nicht. Da sowohl das Prosternum des Thorax als auch das Mikrosternum verkümmert sind und an deren Stelle nur Häute angetroffen worden, ist es nicht zu verwundern, dass die Kehlteile nach hinten nicht besonders scharf begrenzt erscheinen. Trotzdem bemerkt man an ihnen hinten in der Mitte ein länglich-rundliches, mit Tastborsten besetztes, von Furchen umgrenztes Feld a, welches dieser Lage gemäss als *Submentum* in Anspruch zu nehmen ist. Neben den seitlichen Grenzen laufen noch zwei feine Chitinlinien eine Strecke weit nach vorne in das Mentum (Abb. 55). Es finden sich aber auch nach aussen zwei nicht ganz bis zum Seitenrande reichende Furchen, welche von vorn innen (etwas vor dem Mittelstück a) nach hinten aussen ziehen. Da die über dem Mentum verlaufenden, die Labiopoden bedienenden Muskeln alle nur bis zu diesen schrägen Furchen reichen (Abb. 55), keiner aber nach hinten darüber hinausgeht, so vermehrt das die Bedeutung dieser *Schrägfurchen* und lässt die Annahme gerechtfertigt erscheinen, dass das *Submentum* in *drei nebeneinander befindliche Abschnitte zerfallen* ist, von denen die seitlichen nur noch unvollständig abgesetzt sind.

J. Oudemans verdanken wir die einzige bisherige grössere Arbeit über die Organisation von *Machilis:* „Bijdrage tot de Kennis der Thysanura

en Collembola“ Proefschrift, Amsterdam 1887. Obwohl auch der Bau des Kopfes hier wesentlich vollständiger erörtert wurde als in allen sonstigen Schriften, — auf welche ich wegen deren Mangelhaftigkeit garnicht näher eingehe — so hat doch auch er nicht nur eine Menge Organisationsverhältnisse unberücksichtigt gelassen, sondern auch in verschiedenen Dingen unrichtige Darlegungen gebracht, die einer Verbesserung umsomehr bedürfen, als die entsprechenden Abbildungen anderweitig wieder aufgenommen wurden, so z. B. von von Stummer-Traunfels in seinem Aufsatze über die Mundteile der *Apterygoten*. Oudemans hat in seinen Abb. 28 und 29 hinsichtlich des Tentorium und seiner Verbindung mit den Kehlteilen eine Darstellung gebracht, welche, namentlich unter Berücksichtigung seiner Erklärung, durchaus unrichtig ist, wie der folgende Abschnitt zeigen soll. Auch hat er in seiner Abb. 29 als Grenze zwischen Mentum und Submentum (aber ohne Erklärung) eine einfache Bogenlinie angegeben, ohne Unterbrechung im mittleren Bezirk.

## 3. Das Tentorium.

Das Tentorium von *Machilis* ist ein ziemlich verwickeltes Gebilde an welchem man drei Hauptteile unterscheiden kann:

a) den *hinteren Querbalken* (transversarium),
b) das *mittlere Kreuz*,
c) die *Tentoriumplatten*.

Der *Querbalken* liegt innen im hinteren Kopfgebiet etwas *oberhalb* der beschriebenen Submentumteile und ist jederseits durch ein häutiges Band (x Abb. 55) mit den seitlichen Submentumabschnitten verbunden. Er besitzt *zwei Leisten*, von denen die hintere quer ganz durchläuft, während die vordere in der Mitte unterbrochen ist (c Abb. 55 und 56).

Diese vordere Leiste schwillt nach aussen etwas an und bildet hier einen abgerundeten *Höcker* g, welcher in ein entsprechendes Grübchen greift, welches sich am Grunde der Cardo der Maxillopoden vorfindet (Abb. 58 und 59). Hinter dem Höcker springt der Querbalken schräg nach hinten und aussen in einen *Zipfel* vor, der dazu dient zwischen sich und jenem Höcker das innere Ende einer Leiste aufzunehmen, welche sich am Vorderrande eines Sklerites befindet (sst Abb. 55 und 56), welches nach hinten

mit einem Zipfel stark vorragt, ungefähr dreieckige Gestalt besitzt und die *Verbindung herstellt zwischen Kopfkapsel und Tentorium.*

Diese *Seitenstücke* (Lateralsklerite) können nur zum *Maxillopodensegment* gehören, da sie dicht neben den Maxillopoden eingelenkt sind und sich seitwärts genau an den hinteren *Querbalken des Tentorium* anschliessen, während dieser selbst zwischen den Insertionen der Maxillencardines ausgebreitet ist. Oben lehnen sich die *Seitenstücke* an der Kopfkapsel dem *Occipitalgebiet* an und zwar einer inneren Leiste (x Abb. 62), welche sich etwas hinter der Postvertexkante befindet.

Die beiden *Tentoriumplatten* schliessen sich, in der Mediane durch die hintere Kante des Kreuzes getrennt, nach vorne unmittelbar an die vordere, gelenkhöckerführende Leiste des Querbalkens an. Übrigens sind es sehr dünne, nach vorne zart auslaufende Platten (tpl Abb. 56) welche innen vorn durch die schrägen Seitenarme des Kreuzes begrenzt werden.

Das *mittlere Kreuz* (d e f Abb. 58) besteht aus den drei genannten, zum Ansatze von Muskeln bestimmten Kanten, von denen die beiden seitlichen also schräg nach vorne uud aussen gerichtet sind und einem vorderen, dünnen *Fortsatzband,* welches von oben fadenartig erscheint.

Dieses soweit geschilderte *Tentorium muss vollständig als verwachsene und vom zugehörigen Sternit (Submentum) fast ganz getrennte Furculae maxillares* angesprochen werden.[1]) Die Verwachsung zeigt die mittlere Kante und teilweise Zweiteiligkeit des Tentorium an, während *die segmentale Zugehörigkeit zu den Maxillen* ausser durch die geschilderte Lage und Einlenkung aufs deutlichste durch die *Muskeln* dargelegt wird, welche im wesentlichen den bei Dermapteren geschilderten entsprechen. Von der Hinterkante des Kreuzes gehen Muskeln (cam 1 und 2 Abb. 58) an die Cardo, noch kräftigere an die Hüfte der Maxillen ttm 5, während an diese noch andere Muskeln teils von den Seitenkanten des Kreuzes ausgehen ttm 3, teils von dessen vorderem Fortsatz, wobei noch zu bemerken ist, dass diese Muskeln teils an dem innerem Rand der Hüfte sich befestigen, teils tiefer in sie hineinziehen (ttm 2). Besonders interessant sind die Muskeln sstm, welche

[1]) Als ***Sterigmen*** (von *τὸ στήριγμα*) bezeichne ich alle die paarigen ventralen Endoskelettbalken zusammenfassend, einerlei ob Tentorien, Furkulae oder Costae furcillatae. In einer andern Arbeit komme ich darauf zurück.

die Hinterlappen der Lateralsklerite mit dem inneren Gebiet der Querbalken des Tentorium verbinden. Übrigens scheinen diese Lateralsklerite den Postmentalstücken (Abb. 15) der *Dermapteren* homolog zu sein.

Wenn nun auch bei *Machilis eine Hinterhauptöffnung im Sinne der Dermapteren und Orthopteren nicht zu Stande gekommen ist, so besteht gleichwohl nach unten zu eine endoskelettale Brücke zwischen den Hinterkopfhälften wie bei jenen Pterygoten.*

*Machilis* sowohl als auch die *Dermapteren* gehören dem Typus des *Postcranium apertum* an, aber wir können bei diesem unterscheiden:

*Postcranium apertum disjectum* : *Machilis* und

*Postcranium apertum constrictum* : *Dermaptera, Orthoptera, Oothecaria* u. A.

Im Ganzen genommen kann der Typus *disjectus* wohl als ein ursprünglicherer gelten, aber er ist bei *Machilis* nach zwei Richtungen hin umgebildet worden, einmal durch den sekundär stark modifizierten und teilweise sogar degenerierten Thorax, sodann durch die oben besprochene Verschiebung der Facettenaugen. In diesen Verhältnissen zeigen umgekehrt die *Dermapteren* die ursprünglicheren Verhältnisse.

*Absolut primitive Gruppen existieren in der Jetztwelt nicht,* wie solche ausgesehen haben mögen, können wir eben nur dadurch bis zu einem gewissen Grade feststellen, dass wir aus den relativ ursprünglichen Gruppen durch vergleichendes Studium die primitiven Merkmale herausschälen und theoretisch vereinigen. Wir werden unter den lebenden Gruppen die einzelne umsomehr als abgeleitet (derivat) auffassen dürfen, je mehr abgeleitete und je weniger ursprüngliche Charaktere sie besitzt.

In diesem Sinne sind jedenfalls *Machiliden* und *Dermapteren* als zu den *niedrigsten* lebenden Insekten-Gruppen gehörig zu betrachten.

Während wir oben sahen, dass das Tentorium der *Dermapteren* vorn nicht nur durch eine breite Bucht scharf begrenzt ist (Abb. 24), sondern auch mit kräftigen mandibularen Armen sich neben den oberen Mandibulargelenken an der Kopfkapsel befestigt, *fehlen bei Machilis solche mandibularen Arme ebenso vollständig wie obere Mandibulargelenke,* worauf ich im folgenden noch zurückkomme, *der mandibulare Anteil am Tentorium ist bei Machilis überhaupt sehr gering* und besteht lediglich in einem kleinen, zwischen den Mandibeln sich erstreckenden, vorne etwas Y artig verdickten Längsband

(ttma Abb. 76), welches in der Mediane die kräftigen Muskeln m 2 trennt, welche hinten in den Mandibeln befestigt sind. Dieses mandibulare Tentoriumbändchen liegt oberhalb des genannten vorderen Fortsatzbandes des Kreuzes und ist mit ihm verbunden. Wahrscheinlich ist es teilweise mit dem Knoten des Kreuzes verwachsen, denn seitwärts an diesem sind mandibulare Muskeln befestigt (Abb. 58 m 3), welche sich im mittleren Drittel der Mandibeln ausbreiten (Abb. 76). Ausserdem gibt es zwischen den Mandibeln noch eine Quersehne qs, welche deren Bewegung nach aussen nur bis zu einem gewissen Grade gestattet und an die sich schräg nach aussen und hinten kräftige Muskeln befestigen, welche im hintersten Drittel der Mandibeln ausgebreitet sind (Abb. 76 m 1). Ausser diesen drei direkt mit ihren Fasermassen an der Wand der Mandibeln ausgebreiteten Mandibelmuskeln beobachtete ich noch ein viertes Paar m, welches, den Verhältnissen bei *Dermapteren* entsprechend, mit einer langen Sehne nahe der Mitte innen am unteren Rande der Mandibeln befestigt ist, während es sich ausbreitet an jener schon genannten, schrägen Kante (x Abb. 62) im Occipitalbezirk.

*Das Tentorium gehört somit fast ganz dem maxillaren Segment an* und nur ein kleines Band an seinem Vorderende dem *mandibularen*. Vordere Verbindungssäulen des Tentorium von *Machilis* mit der Kopfkapsel im Sinne der Dermapteren gibt es nicht, sie konnten auch bei der eigentümlichen Beschaffenheit der Mandibeln entbehrt werden.

## 4. Die Antennen und antennalen Tentorien.

Während die *Dermapteren* einfache, in der Rundung der Kopfkapsel gelegene antennale Basalstücke aufweisen, kommen den *Machiliden*, wie schon oben beschrieben wurde, vorragende Antennenlophoi zu. Noch grösser aber ist der Unterschied im Antennensegmente hinsichtlich der inneren Platten für die antennobasale Muskulatur. Während wir nämlich bei den *Dermapteren* nur kleine antennale Tentoriumarme vorfinden, welche mit den mandibularen Armen verwachsen sind (Abb. 37), handelt es sich bei *Machilis* um zwei grosse, selbständige, *antennale Tentorien*, welche hauptsächlich vor der Antennenbasis (Abb. 63 und 65 y), nebenher auch noch hinter ihr befestigt sind (Abb. 69). Es sind zwei grosse Platten (Abb. 65 att) welche

mit ihrer breiten Befestigung vorne an die Hinterecken des Clypeus stossen, vorne mehrfach ausgebuchtet sind, in der Mitte eine abgekürzte Längskante besitzen und hinten einen langen Fadenfortsatz f d, welcher die Sehne eines Muskels darstellt, der in der Nähe der Facettenaugen ausgebreitet ist. Diese antennalen Tentorien steigen schräg nach *unten* und innen, neigen also mit ihren unteren Rändern zusammen (Abb. 67), unterhalb des Vorderdarmes. Da jedes dieser antennalen Tentorien *nahezu die Grösse des Clypeus* erreicht, so haben dieselben also im Vergleich zur Grösse des ganzen Kopfes und den Verhältnissen bei Dermapteren u. a. Insekten eine gewaltige Ausdehnung. Auf diesen Tentoriumplatten sind mehrere Muskeln ausgebreitet, welche mit Durchziehung des Antennenlophos sich an den Grund des Antennenschaftes befestigen.

Zwei Muskeln bewegen die Antennen nach vorne, von denen der eine schräg nach vorne zieht (Abb. 67 atm 3), der andere atm 2 nach innen. Hinter dem Letzteren befindet sich ein zweiter nach innen an den Tentoriumrand ziehender Muskel atm 1, welcher die Antennen nach hinten zieht. Am kräftigsten entwickelt und mit ziemlich langer Sehne ausgerüstet ist der Muskel, welcher schräg nach hinten zieht und auf dem Tentorium bis zur Ecke e ausgebreitet ist. Er besorgt das Emporziehen der Antennen (atm Abb. 69), was man am lebenden Tiere oft genug beobachten kann, wenn es sich nach Umherrennen irgendwo ein Ruheplätzchen aussucht. Die breite vor dem Antennenlophos gelegene Anwachsungsstelle der antennalen Tentorien geht nach hinten im Bogen (Abb. 65 p) in einen dicken Chitinstrang über, der nach hinten in den Kopf zieht und zugleich sich nach innen biegt (Abb. 69 p), ausserdem zwei Nebenstäbchen besitzt, von denen das äussere q hinter die Antennenbasis zieht, das innere r an den Frontalbezirk. An die Chitinstränge setzen sich hinten Muskeln m 1, deren Ausbreitungsstelle mir nicht sicher bekannt wurde, aber hinter den grossen Augen aussen an der Provertexkante zu liegen scheint. Jedenfalls bewirken diese Muskeln, im Verein mit den schon genannten am Fadenfortsatz (m f d Abb. 69) eine Bewegung der antennalen Tentorien sowohl als auch *des ganzen Vorderkopfes nach hinten und unten.*

*Wir lernen sonach in Machilis eine Hexapoden-Form kennen, welche eine ausserordentlich niedrige, d. h. primitive Entwickelung des Antennen-*

*segmentes zeigt, welche einmal in der starken Ausbildung der Stammelemente zum Ausdruck kommt und ferner in der Beweglichkeit des Proto- und Deutero-cephalon gegen das Tritocephalon*, bewirkt durch die beiden Paare von Retractoren, welche hinten an die antennalen Tentorien gehen. Hiermit harmoniert die auch durch die frontoclypealen Muskeln (fclm Abb. 66) zum Ausdruck kommende *Beweglichkeit von Frons und Clypeus gegeneinander*, d. h. überhaupt des Rhynchocephalon gegen den übrigen Kopf.

Während nun bei den *Pterygoten* eine derartige ursprüngliche Ausprägung des Antennensegmentes nirgends bekannt geworden ist, deren Kopf sich also darstellt als ein Gebilde, bei welchem *die einzelnen Segmente ihre Selbständigkeit* (mit Ausnahme der Oberlippe) soweit *aufgegeben* haben, dass eine *feste einheitliche Kopfkapsel zustande kommt*, sehen wir, dass bei *Machilis* — harmonierend mit dem *Postcranium apertum disjectum* — überhaupt noch *keine ganz feste und geschlossene Kopfkapsel vorhanden ist, vielmehr die Abschnitte des Kopfes noch teilweise gegeneinander beweglich geblieben sind, also ein Stück vom Charakter der Rumpfsegmente bewahrt haben*, morphologisch sowohl als auch physiolgisch. Man kann unterscheiden ein

*Cranium solutum (Machilis)* von
*Cranium coalitum (Apterygota* e. p. und *Pterygota).*

Es ist darum nicht zu viel gesagt, wenn ich behaupte, dass diese merkwürdige und in mancher Hinsicht bisher noch garnicht richtig gewürdigte Kerbtiergattung eine so eigentümliche Stellung einnimmt, dass man sie, soweit man einen Vergleich überhaupt gestatten will, mit dem *Amphioxus* unter den Vertebraten in Parallele bringen könnte.

Hinsichtlich der Fühler selbst, deren eigentümliche Gliederung fast das Einzige ist was bisher am Antennensegmente Beachtung fand, kann ich mich jetzt auf wenige Bemerkungen beschränken. Der längliche Fühlerschaft (ant 1 Abb. 67) enthält, ebenso wie bei den *Dermapteren*, vier Muskeln, welche direkt an den Grund des nächsten nachfolgenden Gliedes ziehen. Dieses zweite Glied ist halb so gross als der Schaft, aber viel grösser als die weiter folgenden Glieder, erscheint mithin ebenfalls als ein besonders ausgezeichnetes Flagellobasale.

## 5. Die Maxillopoden.

Die muskulöse Verbindung der Maxillenhüften mit dem fast vollständig maxillären Tentorium wurde schon oben auseinandergesetzt. Diese Maxillopoden besitzen verschiedene merkwürdige Eigenschaften. Die Hüften machen einen einheitlichen Eindruck, sind länglich und am endwärtigen Rande schräg gegen die Coxomerite abgeschnitten, sodass sie innen weiter als aussen vorragen.

Die beiden *Coxomerite* sind bei *Machilis* untereinander ebenso unähnlich wie bei den *Dermapteren*. Die Maxillenhüfte (Abb. 58 und 59) springt mit ihrem dreieckigen Endgebiet zwischen die Basen der beiden Coxomerite ein. Das äussere Coxomerit ragt endwärts etwas weiter vor als das *innere*. Das Letztere sitzt schräg auf der Innenseite des dreieckigen Hüftenzipfels, verschmälert sich allmählich gegen das Ende und ist an diesem stärker als im übrigen chitinisiert. Dieser Endabschnitt des inneren Coxomerit, welcher durch ein nahtartiges und mit zwei winzigen Gelenkknöpfchen versehenes Gelenk abgesetzt ist, hat nur die halbe Grösse des grundwärtigen. Er ist besetzt mit verschiedenen Spitzchen und Läppchen von zarter Beschaffenheit (Abb. 79 und 80) enthält aber keine starke Beisszähne und ist im übrigen ganz unbeborstet. Nach oben zu findet sich vor dem Ende eine tiefe Bucht (Abb. 80 x), welche nach innen mit einer feinen Spitze endet und auf ihrem Rande einen dreieckigen Lappen trägt. Nach unten bemerkt man (Abb. 79) eine Gruppe feiner, kammartig aneinander stehender Stiftchen und zwei längliche, abgerundete, dicht beieinander stehende Läppchen. Nach innen zu gibt es ebenfalls zwei kleine Spitzchen. Borsten und Sinneswärzchen kommen am inneren Coxomerit nicht vor.

Das *äussere Coxomerit* ist länglich, erscheint wie aufgebläht und ist überall zugerundet (Abb. 59). Sein Endgebiet ist besetzt mit zahlreichen, kleinen, emporgewölbten Wärzchen (Abb. 78), welche entweder kurze Börstchen oder noch viel kürzere Stiftchen tragen. Es liegt auf der Hand, dass es sich hier um *Sinneswärzchen* handelt, die ihrer Beschaffenheit nach vielleicht zweierlei Natur haben und sowohl für den Tast- als auch Geschmackssinn in Anspruch genommen werden können. Zahlreiche Nervenfasern sah ich namentlich an die Wärzchen mit kurzen Stiften herangehen,

bisweilen kamen dieselben innenwärts von einer rundlichen Zelle her. Weiter grundwärts kommen diesen Coxomeriten auch Tastborsten zu. Auffallend ist das Verhältnis des äusseren Coxomerit zum Telopodit (Palpus). Während wir nämlich bei den *Dermapteren* für jedes Coxomerit ein besonderes stützendes Basalgebilde kennen gelernt haben, findet sich bei *Machilis* aussen an dem dreieckigen Endabschnitt der Hüfte ein kurzer, nicht ganz vollständig geschlossener Zylinder (prtr Abb. 59), welcher sowohl endwärts das äussere Coxomerit, als auch aussen das Telopodit trägt. Wenn auch die übrige Hüfte nicht in Abschnitte zerfallen ist, so kann doch dieser kurze Zylinder, den ich *Praetrochanter* nenne, Exo- und Mesocoxit der *Dermapteren* zusammen genommen, verglichen werden, freilich nur physiologisch, morphologisch ist keine vollkommene Homologie vorhanden, wie aus den Muskeln sich ergeben wird.

Auffallend ist die Zusammensetzung der Maxillentaster aus *acht* Gliedern bei Einrechnung des Praetrochanter, oder *sieben*, ohne denselben. Es folgt auf den Praetrochanter zunächst ein gedrungenes Glied (Abb. 77 tro), welches ausgezeichnet ist durch einen starken *äusseren* nach *oben* gerichteten Fortsatz pr. Hinter diesem bemerkt man eine kleine Vorwölbung b, welche bei oberflächlicher Betrachtung wie ein besonderes Glied aussieht, tatsächlich aber zu dem fortsatztragenden Gliede gehört. Es folgt dann ein kräftiges, leicht gebogenes, ziemlich langes Glied, dann zwei etwas kürzere, hierauf wieder ein längeres, ungefähr gerades und schliesslich zwei, die etwas dünner und auch wieder kürzer sind.

Sehr interessant ist der Vergleich mit den Maxillen-Telopoditen der *Dermapteren* (Abb. 5) wobei sich ergibt, dass *Machilis* ein Podotelson im Sinne jener fehlt, dass aber *zwei* Telopoditglieder durch Einschnürung in je zwei *vier* erzeugt haben. Um aber mit Sicherheit festzustellen, welches die Glieder sind, welche in *Teilung* eingetreten sind, müssen wir übergehen zur Betrachtung der Muskulatur.

Die Telopodite der Maxillen von *Machilis* enthalten *zwei* amyotische und *fünf* myotische Glieder. Da bei *Dermapteren* (vom Podotelson abgesehen) nur *ein* amyotisches und *vier* myotische Glieder angetroffen werden, so liegt der Schluss auf der Hand, dass von den beiden geteilten Gliedern das eine ein myotisches, das andere ein amyotisches ist.

Bei *Machilis* enthalten das 3. und 4. letzte Glied je einen Flexor, die beiden letzten Glieder also überhaupt keine Muskeln. Am auffallendsten ist ein starker Brückenmuskel (bm Abb. 77), welcher am Grunde des Fortsatzes des ersten Telopoditgliedes beginnend, durch dieses und die beiden folgenden Glieder zieht und als Extensor sich aussen an den Grund des 4. letzten Gliedes befestigt. Ein anderer, viel schwächerer Brückenmuskel (bm 1) beginnt erst im 2. Telopoditgliede, zieht durch dieses und das Drittte und heftet sich als Flexor an den Grund des vierten. Endlich sind noch zu nennen drei direkte Muskeln, welche als Flexoren sich im 1., 2. und 3. Telopoditgliede befinden und von denen die beiden Letzteren schwach sind, sowie zwei direkte Extensoren (Levatoren) im 1. Gliede, von denen der eine direkt an den Grund des 2. Telopoditgliedes geht, während der andere ein wenig darüber hinauszieht, aber noch nicht bis zur Mitte reicht (mx). Dieser letztere Muskel hat seine Ausbreitungsstelle an der Basis des Fortsatzes des 1. Telopoditgliedes.

Unter Berücksichtigung dieser Gliederung und Muskulatur kann, im Vergleich mit den *Dermapteren,* die Deutung dieser sieben Telopoditglieder von *Machilis* nicht mehr zweifelhaft sein. Wir haben im Telopodit der *Dermapteren*-Maxillen *vier* durch Muskeln ausgedrückte Glieder, bei *Machilis fünf.* Es ist also eines der muskelführenden Glieder *durch Teilung in zwei zerschnürt* worden. Dass dieses das 2. Glied, *das Praefemur* ist, beweist einmal der Umstand, dass die beiden letzten myotischen Glieder der *Dermapteren* sowohl als auch der *Machilis* nur direkte Muskeln enthalten, sodann das Verhalten der Brückenmuskeln. Der einzige Brückenmuskel bei *Dermapteren* geht durch *Trochanter* und *Praefemur* (Abb. 5), während bei *Machilis* der grössere Brücken-Muskel sich durch die drei grundwärtigen Telopoditglieder erstreckt. Von diesen hat allein das 1. d. h. grundwärtigste starke direkte Muskeln, entsprechend dem Trochanter bei *Dermapteren,* welcher ebenfalls direkte Muskeln enthält. Stellen wir uns nun vor, dass sich das Praefemur streckt und in der Mitte durchschnürt, so erhalten wir den von *Machilis* vertretenen Zustand. Der zwei Glieder durchziehende Brückenmuskel (bm Abb. 77) wird zu einem drei Glieder durchsetzenden und direkte Muskeln welche ursprünglich dem einheitlichen Praefemur zukommen, wurden durch Einschnürung desselben sekundär ebenfalls zu

Brückenmuskeln bm 1. Stellen wir uns vor, dass sich ein Teil dieser Muskeln durch Abspaltung selbständig machte und in der Mitte an das neue Gelenk anlehnte, so erhalten wir die kleinen direkten Muskeln. Mithin haben wir das fortsatzführende Glied von *Machilis* als Trochanter zu betrachten, die beiden folgenden als *zwei Praefemora,* grund- und endwärtiges *Praefemur*. Darauf folgen dann in gewohnter Weise die beiden muskelführenden Glieder Femur und Tibia, endlich zwei muskellose Tarsalia.[1]) — Ein kurzer, direkter Flexor zieht vom *Praetrochanter* an den Trochantergrund. Zwei längere und kräftigere Muskeln gehen aus dem Hauptteil der Coxa und zwar der endwärtigen Hälfte derselben quer herüber an den Telopoditgrund, als Extensor der hintere, Adduktor der vordere. Die beiden kräftigsten in der Hüfte ausgebreiteten Muskeln bedienen das innere Coxomerit (Abb. 59 im und im 1), kurz und viel schwächer sind die Motoren des äusseren Coxomerit,[2]) welche aus dem Praetrochanter kommen (em). Dass die Coxomeritmuskeln der *Dermapteren* und *Machiliden* homolog sind, ist nicht zu bezweifeln, aber die verschiedenen Abschnitte der Hüften, — zwei bei Machilis und mindestens vier bei den Dermapteren — haben sich unabhängig voneinander gebildet, daher denn die grundwärtigen Ausbreitungen der aus der Coxa kommenden Muskeln in beiden Gruppen teilweise verschiedenartig liegen. Von einem Podotelson kann bei *Machilis* nicht die Rede sein, aber es erscheint immerhin beachtenswert, dass am Tarsusende eine stachelartige Borste sitzt (Abb. 77), wobei jedoch zu bemerken ist, dass ausser den Schuppen und Borsten, welche an allen Telopodit-

---

[1]) Börner hat in den Sitz.-Ber. d. Ges. nat. Fr., Februar 1903, in einem Aufsatze „über Mundgliedmafsen der Opisthogoneata“ u. A. auch die Maxillen von Machilis behandelt und deren Muskeln abgebildet, was im Vorigen teilweise bestätigt, teilweise ergänzt ist. Es ist nicht zu billigen, dass dieser Autor meine Trochanter-Praefemur-Theorie auf der einen Seite bekämpft, auf der anderen aber selbst ein „Femur 1“ und „Femur 2“ bei verschiedenen Hexapoden angibt. Ob das betr. Glied Praefemur oder „Femur 1“ heisst, ist natürlich sachlich ganz nebensächlich. Immerhin ist meine Bezeichnung schon deshalb richtiger, weil das geteilte myotische Glied wie oben erörtert kein Femur ist. Tatsächlich hat aber Börner hier ein Glied, welches in den Bereich meines Praefemur-Begriffes gehört, selbst nachgewiesen, ohne das gebührend ausgesprochen zu haben!... Ein Praefemur musste also auch Börner in solchen Fällen zugeben. Über seinen unrichtigen Tarsusbegriff, der auch bei Machilis zum Ausdruck gekommen ist, habe ich bereits anderweitig mich ausgesprochen.

[2]) Da sie in Börners Abb. fehlen, betone ich, dass ich sie deutlich beobachtete.

gliedern anzutreffen sind, gerade an den beiden Tarsalia eine ganze Anzahl stachelartiger Borsten vorkommen.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass die Maxillopoden der *Dermapteren* im Vergleich mit *Machilis* grösstenteils ursprünglicher organisiert sind. In einem Punkte aber nimmt *Machilis* eine entschieden primitivere Stellung ein und dies betrifft die *Haltung* der Maxillentaster. Während nämlich die *Dermapteren* mit ihren Palpen beim Umherlaufen unaufhörlich gegen den Boden klopfen, indem sie denselben mit den Enden zitternd betupfen, beim ruhigen Sitzen aber die Palpen mehr *anziehen;* verhalten sich die mächtigen Palpen der *Machilis* dadurch, dass sie zunächst in hohem Bogen nach oben gerichtet sind, dann in Form einer Schleife sich herab und auch wieder etwas zurückbiegen und mit diesem zurückgebogenen Teil *den Untergrund berühren,* etwas beinartig. Diese grossen Palpen sind ausserdem ganz auffallend stark nach vorne gerichtet und können beim *Klettern der Tiere wie zwei grosse Haken lokomotorisch mitwirken.* Die Maxillopoden-Telopodite von *Machilis* stellen sich sonach *halb als Tast- halb als Kletterorgane* dar, wobei noch zu bemerken ist, dass sie bei ruhigem Sitzen der Tiere in der genannten Weise schleifenartig gebogen sind, nach vorne, unten und wieder zurück, wobei sie gegen die Mediane stark genähert sind. *Die Maxillopoden von Machilis nehmen also unter den Insekten nach Bau, Haltung und Funktion eine ganz eigenartige Stellung ein.*

Die Cardines sind verhältlich klein und schwach (Abb. 58 und 59), doch habe ich auch an ihnen jene zwei vom maxillaren Tentorium kommenden Muskeln feststellen können (cam 1 und cam 2), welche ich oben für die *Dermapteren* nachwies.

## 6. Das Maxillopodensegment.

Selbständige Tergite für die drei Kiefersegmente besitzt *Machilis* ebensowenig wie andere Insekten. Es ist also im dorsalen Gebiet kein Anhalt für die bestimmte Abgrenzung dieser drei Segmente zu gewinnen. Den drei Kiefersegmenten sind jedenfalls die lateralen Subocularfelder und der kleine Vertexbezirk zuzurechnen (Abb. 56 und 62 E und sol), ebenfalls das sehr schwach entwickelte vordere und das grössere hintere Wangengebiet.

Die lateralen Subocularfelder werden bei den Jungen (Halbwüchsigen) vom Frontalbezirk ziemlich scharf durch die hinteren Ocellen getrennt (Abb. 66), während diese Grenze bei den Erwachsenen (Abb. 63) verwischt wurde.

Dass und warum das eigentliche *Tentorium* fast ganz zum Maxillopodensegment gehört, wurde schon oben ausgeführt. Auch die Lateralsklerite sind bereits erörtert worden. In ihnen liegt offenbar ein ecoxales *Pleurit* des Maxillopodensegmentes vor (Postmentalstücke der Dermapteren). Da sich nun die basale Einlenkung der Maxillen ganz hinten am Tentorium befindet, dieses aber hinten mit den beschriebenen Submentumstücken verbunden ist, da ferner die Letzteren *hinter* dem Mentum lagern und von diesem aus nach vorne die basalen Muskeln der Labiopoden abgehen, so ergibt sich, zumal die Labiopoden nach vorne (oben) mit dem Hypopharynx verbunden sind (nicht aber mit den Maxillopoden), auch hier der notwendige Schluss, dass *das Maxillopodensegment hinter dem Labiopodensegment* liegt, also entsprechend dem bei *Dermapteren* Ausgeführten.

## 7. Die Labiopoden.

Da die Maxillenpalpen der Machilis in ihrer Gliederung so sehr von denen der *Dermapteren* u. A. abweichen, könnte es als erstaunlich betrachtet werden, dass die Labialpalpen die gewöhnliche Dreigliedrigkeit aufweisen. Man hat aber zu berücksichtigen, dass wie geschildert die Maxillopoden von *Machilis* ein Stück der Urfunktion, der lokomotorischen, bewahrt haben, die Labiopoden aber, als die phylogenetisch weit früher und stärker zur Nahrungsaufnahme herangezogenen Gliedmafsen, solcher Betätigung längst vollkommen entrückt sind.

Die *Hüften* der Labiopoden weichen gleichwohl beträchtlich von denen der *Dermapteren* ab. In mehreren Punkten haben aber die Labiopoden der *Dermapteren* die ursprünglichere Beschaffenheit bewahrt, namentlich hinsichtlich der einfachen Coxomerite, der erhalten gebliebenen Furculae labiales und des Auftretens eines Podotelson.

Die Labiopoden*hüften* von *Machilis* sind mehr oder weniger in die Quere gestreckt, stossen in der Mediane hart *aneinander*, bleiben aber gleichwohl voneinander *getrennt*. Nach vorne, d. h. endwärts tragen sie

auffallenderweise vier Coxalorgane (Abb. 57 und 60), doch stellt sich bei näherer Untersuchung heraus, dass es sich genau genommen um *nur zwei Coxalorgane* handelt, welche aber auf dem Wege sind sich jedes *wieder in zwei Hälften zu teilen.* Man bemerkt also *vier* abgerundete Lappen, welche alle mit den eigentümlichen *Sinneswärzchen* besetzt sind, welche schon bei den äusseren Coxomeriten der Maxillen erwähnt wurden. Auch hier sind diese gewölbten Sinneswärzchen von zweierlei Art, nämlich entweder mit kurzen Börstchen oder mit noch kürzeren Stiftchen besetzt, an welche Nervenfasern heranziehen (Abb. 60 links).

Die beiden inneren Coxomeritlappen sitzen der Hüfte als Fortsetzung unmittelbar auf und sind ganz nach vorne gerichtet, während die beiden äusseren etwas mehr nach oben gewendet sind und dadurch auch stärker gegen die Hüfte abgesetzt. Während das *äussere Coxomerit* nur als *eingeschnitten* (incisum) bezeichnet werden kann, indem das Ende des Einschnittes vom Grunde, wo sich Muskeln ansetzen, weit entfernt bleibt, kann das *innere Coxomerit gespalten* (fissum) genannt werden, weil der Einschnitt bis zum Grunde reicht, wo sich ein Verdickungsknoten befindet (k Abb. 60), an welchen sich die Retraktoren ansetzen, nämlich ein oberer brcom 2, welcher vom Mentum ausgeht und zwei untere (coam 2 und 3) welche von der Coxa herkommen und sich jederseits an den Knoten befestigen. An den Grund der *äusseren Coxomerite* ziehen zwei Muskeln, von denen ebenfalls der obere, lange (brcom 1 Abb. 57) vom Mentum, der untere (coam 1 Abb. 60) aus der basalen Aussenecke der Hüfte kommt. Wir sahen vorne, dass bei den *Dermapteren* die Labiopodenhüften nicht vollständige Zylinder sind, sondern nach oben gegen den Hypopharynx weit weniger weit nach innen reichen als unten, daher die obere Hüftwand wie ein Lappen erscheint, dessen innerer Rand in Abb. 32, 38 und 18 x x durch eine punktierte Linie angedeutet ist. Besonders deutlich ist das ferner in Abb. 8 zu sehen, wo dieser Rand ($\alpha\,\alpha$) etwas wulstig verdickt ist. Bei *Machilis* (Abb. 60) finden wir eine höhere Ausbildung dieses verdickten Randes, indem an der Stelle wo Telopodit, äusseres Coxomerit und Hüfte zusammenstossen, an letzterer ein vollständiger, ins Innere ragender Zapfen zur Ausbildung gelangt ist, den ich als *Coxalzapfen* bezeichne. Er ist nach hinten und auch ein wenig nach innen gerichtet, ragt über die Mitte der Hüfte hinaus und ist für

mehrere Muskeln als Ansatzhebel wichtig. Wie Abb. 81 zeigt wird die Hüfte durch eine besondere Leiste c mit dem Coxalzapfen verbunden. Ein direkter Muskel zieht vom Ende des Coxalzapfens an den äusseren Grund des Telopodit und wirkt als dessen Extensor. Zwei Brückenmuskeln gehen vom Coxalzapfen ab, durchsetzen das grundwärtige Telopoditglied und befestigen sich als Flexor und Extensor an der Basis des mittleren (Abb. 57 und 60). In diesem mittleren Telopoditgliede beobachtete ich nur einen direkten Flexormuskel, welcher an den Grund des letzten muskellosen Telopoditgliedes zieht. Die drei Telopoditglieder können wir also ebenso bezeichnen wie bei den Dermapteren, nämlich Trochanter, Femur und Tibiotarsus. Sie sind in der Folge von grund- nach endwärts immer etwas länger. Auf der Endhälfte des Tibiotarsus findet sich eine Anzahl länglicher, von der Seite dreieckig erscheinender Stiftchen, welche als *Taststiftchen* zu bezeichnen sind, da die Tiere mit ihnen allerlei Gegenstände tastend berühren und ihr Bau wesentlich von dem der Tastborsten und Stachel abweicht. Es handelt sich nämlich um kleine Hautkegel, in welchen man sehr deutlich Nervenfasern nicht nur eintreten sondern auch bis gegen die Spitze verlaufen sieht. An der Spitze selbst bemerkt man äusserst winzige Härchen, sodass dieselbe wie fein gekerbt erscheint. Im übrigen sind die Telopoditglieder reichlich beborstet.

Indem wir jetzt zum Coxalzapfen zurückkehren, muss eines *Coxalzapfenmuskels* (Abb. 60 cozm) Erwähnung geschehen, welcher vom inneren Hüftrande, wo er ausgebreitet ist, zum Coxalzapfen zieht, an dessen ganzer Innenseite er ausgebreitet ist. Dieser Coxalzapfenmuskel ist dem in Abb. 32 flam dargestellten Muskel der Furculae labiales der *Dermapteren* homolog und das Zeugnis, dass die Vorgänger von *Machilis* ebenfalls *Furculae labiales* besessen haben. Dieselben sehen wir schon bei *Hemimerus* hart an den inneren Coxalrändern. Bei *Machilis* sind sie offenbar mit diesen verschmolzen und dann bis auf ganz kleine, am Innenrande sitzende Wülste verkümmert. Der ursprünglich von ihnen abgehende Muskel aber konnte stark ausgebildet bleiben, weil sich der Coxalzapfen stark entwickelte.

Die Mündung der Speicheldrüsen oberhalb am Grunde der Labiopoden, also zwischen diesen und dem Hypopharynx (Abb. 60 spd) ist bereits von Oudemans richtig geschildert worden.

Die basalen Muskeln, welche vom *Mentum* aus an die Hüften abgehen, habe ich schon oben beschrieben.

In ihrer natürlichen Lage sind die Labiopodentaster nach vorne und oben gerichtet und so klein im Verhältnis zu den Maxillopodentastern, dass sie noch nicht einmal bis zum Ende des zweiten Gliedes derselben reichen.

## 8. Der Hypopharynx.

Oben auf den Labiopoden liegt der durch eine sehr feine Haut von ihnen getrennte *Hypopharynx* (Abb. 61) an welchem man ohne Weiteres *drei Teile* unterscheiden kann, die unpaare, mittlere *Zunge* (li) und zwei, auffallend stark davon abgesetzte *Nebenzungen*. Die Zunge ist auch sehr zungenartig gestaltet, am Ende abgerundet und in der Mitte ein wenig eingebuchtet, wodurch sie schwach zweilappig wird. Am Grunde der Zunge, d. h. also nach hinten zu finden sich als Stützen zwei schlanke *Zungenstäbe* (lirh), welche anfangs etwas convergieren, weiterhin aber divergieren. Gegen die Zunge deutlich abgesetzt ist ein Bezirk, welchen ich als *Schlundbürste* (penicillus faucium) bezeichnen will und welcher mit dem oberen Grunde der Zunge durch Haut verbunden, unter einem spitzen Winkel gegen diese abläuft, daher mit seiner Oberfläche nach unten und vorn gerichtet ist.

Vergleicht man die Gesamtheit dieser hypopharyngealen Gebilde mit denen der *Dermapteren*, so ergibt sich, dass jene seitlichen, mit Tastborsten besetzten Abschnitte, welche aus den Abb. 10, 13 und 22 hyph ersichtlich sind und oben als *Seitenplatten* der *Holodermaptera* beschrieben wurden, bei *Machilis vollkommen fehlen*, überhaupt besitzt der *Hypopharynx* derselben *keine* Tastborsten und ist in dieser Hinsicht kümmerlicherer Natur als bei den *Dermapteren*. Schlanke Muskeln (Abb. 61 lim) ziehen von den Seiten des Mentum in die Gegend wo die Nebenzungen an die Zunge stossen. Ferner scheinen vom Mentum Muskeln an die Zungenstäbe abzugehen, doch habe ich hinsichtlich des Verlaufes derselben keinen vollkommen sicheren Eindruck gewonnen.

Die *Nebenzungen*, welche etwas höher liegen als die Zunge, sind *durch Haut mit den Mandibeln* verknüpft, an welche sie sich innen herandrängen. Abb. 74 zeigt eine der in drei Zipfel zerfallenden Nebenzungen, an denen ausserdem eine höchst zierliche, hier und da den Charakter von

Spitzchen annehmende Zellstruktur auffällt. Zwei Zipfel sind abgerundet, einer ist zugespitzt. Letzterer c ist der äussere, zugleich kleinste und strukturlose. Der mittlere Zipfel und der kleinere innere tragen die Zellstruktur in ihrer Endhälfte, der grosse mittlere Zipfel besitzt ausserdem eine Anzahl ziemlich grosser Haare aussen oberhalb des kleinen Aussenzipfels. Tastborsten fehlen auch an den Nebenzungen.

Die Struktur der *Zunge* ist nicht weniger zierlich als die der Nebenzungen, wobei ich noch bemerken will, dass sie bei den *Jungen* entschieden schwächer ist. Sie besteht übrigens bei Erwachsenen und Jungen in kleinen nach der Mediane zu gewölbten Wellenlinien, auf denen sich kleine Spitzchen befinden, welche an der Unterfläche der Zunge zahlreicher und stärker sind als an der Oberfläche. Ausserdem ist unten das ganze mittlere Gebiet, in welchem sich eine vom Endrandeinschnitt herkommende *Längsrinne* befindet, dicht mit kleinen Spitzchen besetzt, welche in der Mitte nach vorn, seitwärts gegen die Längsrinne zu gerichtet sind.

Durch das Hin- und Herreiben einer derartig ausgerüsteten *Zunge* muss auf die Gegenstände, welche sich zwischen den Mundteilen befinden und gegen welche die Zunge sich andrücken kann, ein *feilender* Einfluss ausgeübt werden.

Die von den Mandibeln zurechtgebissenen und von ihnen mit Hilfe der Taster in den Mundspalt geschobenen *Nahrungsteile werden von den inneren Coxomeriten der Maxillopoden, welche in die Tasche zwischen Labiopoden und Zunge eingeschoben werden können, weiter zerkleinert, von der Zunge gefeilt und dabei mit Speichel eingeweicht.* Dabei sind die äusseren Coxomerite, sowie die Labiopoden teils als Halter teils als prüfende Tastorgane tätig.

Die Nebenzungen von *Machilis* sind wesentlich kräftiger entwickelt als die der *Dermapteren* und erscheinen auch etwas selbständiger. Trotzdem muss ich gegenüber denjenigen Autoren, welche diese Nebenzungen als kümmerliche Extremitäten eines prämandibularen Segmentes in Anspruch nehmen wollten, betonen, dass es sich um häutige Gebilde handelt, die beim Fehlen aller Tastborsten durchaus keinen Skleritcharakter haben.

Die Zungenstäbchen sind an der Zunge befestigt und diese ist nach Lage und verbindenden Muskeln ein vor dem Mentum befindliches, umge-

wandeltes *Sternit* des dem Labiopodensegment vorangehenden Mandibularsegmentes. Die Nebenzungen fasse ich daher als *ausgestaltete Verbindungshäute* auf.

Die Mundöffnung, d. h. die eigentliche innere Mundöffnung, (os Abb. 67 und 71) befindet sich unterhalb des Clypeus ziemlich weit nach hinten gelegen. Zwischen ihr und dem oberen Zungengrunde befindet sich die schon genannte *Schlundbürste*. Es handelt sich um einen Bezirk von teilweise häutiger Beschaffenheit, in welchem jederseits ein fast mondsichelförmiges *Plättchen* (Abb. 72) und ein mittleres, etwas mehr zurückliegendes *Medianfeld* zu unterscheiden sind. Die seitlichen *Plättchen* werden verstärkt durch feine ∨ förmige mit der Öffnung nach hinten liegende Verdickungsstreifen (Abb. 73 b), an welche sich vorne eine unpaare ∨ förmige Verdickung a anschliesst, welche jene beiden verbindet und damit zugleich die beiden Plättchen. Auf ihnen findet sich ein schöner Besatz von meist gegen die Mediane gerichteten Spitzchen, welche verschieden dicht und stark sind, im ganzen aber wie ein Band erscheinen, das sich nach vorne zu in zwei Bändchen trennt, von denen das äussere bald aufhört, während das innere schräg gegen die Mediane ziehend mit seinem Gegenüber sich vereinigt und so ein ∨ bildet, welches über dem genannten ∨ förmigen Verdickungsstreifen steht. Die Verdickungsstreifen dienen zur Versteifung der mit Spitzchen ausgerüsteten Hautstellen. In die Vereinigungsstelle der zu einem ∨ zusammenlaufenden Spitzchenstreifen tritt von hinten noch ein unpaarer medianer Streifen c, der sich auf dem genannten Medianfeld befindet. Seine Spitzchen sind schräg nach vorne gerichtet. Alle drei Streifen von Spitzchen vereinigen sich zu *einem* starken Streifen von Spitzen und Höckerchen, welcher gleich hinter der Mundöffnung sich ausbreitet. In ihm liegt noch ein kleines, die Mundöffnung unten begrenzendes Läppchen (ul Abb. 71), an welches sich jederseits ein Muskel anschliesst (phm 1), der oben vom Clypeus herabkommt.

Das *Schlundbürstenfeld* der *Machilis* entspricht jedenfalls der Zungenbürste der *Dermapteren*, vielleicht auch noch einem Teil der parastomatischen Gebilde jener. Übrigens ist es gegen den Hypopharynx, wie schon gesagt, entschieden *schärfer abgesetzt* wie bei den *Dermapteren* die Zungenbürste.

Wenn bei *Machilis* irgend ein Bezirk am Kopfe auf ein Prämandibularsegment bezogen werden kann, so ist es m. E. eben dieses Schlundbürstenfeld. Es ist übrigens fraglich, ob hinsichtlich der Reste dieses Segmentes überhaupt noch eine einigermassen sichere Deutung möglich ist. Parastomatische Plättchen im Sinne der *Dermapteren* habe ich bei *Machilis* nicht beobachtet.

Die *physiologische* Bedeutung des Schlundbürstenfeldes ist jedenfalls eine ähnliche wie bei der Zungenbürste der Dermapteren, nämlich die eines *Reinigungsapparates* für die sehr langen und sehr vielgliedrigen Antennengeisseln, ohne dass es deshalb für die Nahrungsaufnahme, namentlich für das *Überführen* der zwischen Labiopoden und Zunge verarbeiteten Nahrungsteilchen zur inneren Mundöffnung bedeutungslos zu sein braucht. Auch sind seine Höcker und Stachelchen sehr geeignet zum Halten und Zerreiben feinerer Nahrungsteilchen.

## 9. Die Mandibeln.

Die Muskulatur der Mandibeln ist, ebenso wie die einzige Gelenkverbindung mit den schwach entwickelten Wangen, bereits oben besprochen worden. Da die beiden Mandibeln durch die genannte Quersehne fest zusammenhängen, so liegen sie, nachdem sie auch hinten fest in die Gelenke gesetzt sind, der Kopfkapsel von unten dicht an und werden durch die Muskeln und Verbindungshäute getragen. Im Verhältnis zu den *Pterygoten* mit beissenden Mundteilen ist die Bewegungsfähigkeit der *Machilis*-Mandibeln geringer. Diese zarten Tierchen vollführen mit ihren Oberkiefern mehr *schabende* und kratzende als eigentlich beissende Tätigkeit. Man kann an den Mandibeln drei Abschnitte unterscheiden, nämlich:

1. den *Stamm,* welcher vom Gelenkhöcker bis zur Quernaht (y Abb. 76) hinter dem erweiterten Teile reicht und durch die Ausbreitung der Muskeln ausgezeichnet ist;
2. den *Mittelteil,* welcher nach innen mit einer starken Erweiterung, der *Mahlplatte* vorspringt, ma;
3. den *Endarm,* welcher nach vorne gerichtet ist und gewöhnlich unter dem Vorderkopf verdeckt liegt.

Die *Stammteile* befinden sich unter dem Seitenrande der Kopfkapsel und zwar unterhalb der seitlichen Ocellen und der Antennenbasis. Der

Mittelteil liegt neben den Hinterecken des Clypeus, wo sich eine *rinnenartige Einsenkung* am Kopfe befindet. Dieselbe gestattet einmal ein festeres Anlegen der Mandibeln an das Protocephalon und dann erleichtert sie eine eigentümliche *Anpassung der Maxillentaster an die Mandibeln,* welche darin besteht, dass dieselben mit ihrem Trochanter nach innen sich um den Mittelteil krümmen und durch den *Trochanterfortsatz* fest anzulegen imstande sind. Diese Anpassung gibt den Maxillen einen bei ihrer ungewöhnlichen Länge sehr nützlichen *Anhalt,* wenn sie nach vorne tastend oder kletternd in Tätigkeit treten.

Der Stamm ist etwas mehr als halb so lang wie die ganze Mandibel. Während Endarm und Mittelteil einen geschlossenen Hohlkörper vorstellen, ist der Stamm ein innen offener Halbzylinder zur Aufnahme der beschriebenen Muskeln. Eine ziemlich tiefe Furche bildet die Grenze (Abb. 76 y) zwischen dem Stamm und der übrigen Mandibel. Der Endarm ist ebenfalls durch eine übrigens feinere Furche x vom Mittelteil abgesetzt. Etwas vor derselben findet sich innen noch eine abgekürzte Furche. Schuppen sind an den Mandibeln nicht vorhanden und auch Tastborsten stehen nur aussen und grundwärts am Stammteile.

Die Endarme verschmälern sich allmählich und besitzen am Vorderende 3—4 kleine abgerundete Zähnchen. Die *Mahlplatte* ma des Mittelteiles ist innen schräg abgestutzt und springt hinten, wo sich eine zahnartige Ecke befindet, stärker vor als vorne. Der ganze Innenrand, welcher infolge starker Chitinisierung gelb erscheint, ist fein *gerieft* und zeigt sich dadurch sowie durch seine Anordnung als das Organ, welches Nahrungsteilchen zu zermahlen bestimmt ist. Als solches weist es auch einen etwas *asymmetrischen* Bau auf, indem die *linke* Mahlplatte an der Unterfläche mehrere (3—4), nach innen gerichtete, stumpfe *höckerartige* Zähnchen aufweist, welche der rechten fehlen. In Abb. 76 sind dieselben nicht sichtbar. Auch in der Gestalt sind die Mahlplatten etwas asymmetrisch. Die *Riefen* der Mahlplatte sind sehr zahlreich und erscheinen als ziemlich regelmässige Reihen winziger stumpfer Chitinstäbchen. Nach unten dagegen besitzt das Riefenfeld einen aus unregelmässigen stumpfen Zähnchen gebildeten Rand, welcher an der rechten Mandibel, wo die Höckerzähnchen fehlen, stärker ist als an der linken. Auch die dem Riefenfelde entsprechende *Hypodermis* zeigt eine

zierliche in Reihen geordnete Stäbchenbildung, indem ihre Zellen dieselben Fortsätze bilden wie das Hautskelett. Die Mandibeln der Jungen stimmen im Wesentlichen mit denen der Erwachsenen überein, nur die Tastborsten und die Stäbchen der Mahlplatten sind noch schwach entwickelt.

Die *Mandibeln* nicht nur von *Machilis* sondern von den *Thysanuren* überhaupt sind *in ihrer Eigenartigkeit den Mandibeln beissender Pterygoten gegenüber* bisher nicht gebührend beachtet worden. Während wir es bei den *Pterygoten*-Mandibeln mit *zwei* Gelenkknöpfchen zu tun haben (wie oben für die *Dermapteren* genauer ausgeführt wurde), deren oberer sich bei den Hinterecken des Clypeus befindet, kommt den Mandibeln der *Thysanuren* nur *ein* Gelenkknopf zu, der dem unteren der Pterygoten entspricht. Ausserdem sind diese *Thysanuren*-Mandibeln nicht nur dadurch ausgezeichnet, dass sie sich weit mehr in der Richtung der Körper*längsaxe* als in die Quere erstrecken, sondern auch durch die *Muskulatur*, indem sich nicht lediglich Sehnen von oft beträchtlicher Länge an die Basis befestigen, wie bei den *Pterygoten*, sondern ein Teil der Muskeln (und zwar wie hier bei *Machilis* die Mehrzahl) breitet sich mit seinen Fasern im Innern der Mandibeln, an der Wandung des Stammes derselben aus. Den *Thysanuren* schliessen sich im Baue der Mandibeln die *Collembolen* an (ich folge dabei ausser andern Autoren namentlich Folsom),[1]) indem bei *Orchesella* die drei Abschnitte der Mandibeln, welche ich von *Machilis* erörtert habe, ebenfalls zu erkennen sind, allerdings in viel weniger deutlicher Ausprägung und schwächerer Absetzung. Folsom gibt in Abb. 10 seiner hübschen Arbeit unter der Bezeichnung „prj con“ d. h. „Conical projection“ einen *Zapfen* an, welcher sich oben an der Mandibel befindet und wahrscheinlich dem oberen Gelenkhöcker der *Pterygoten* entspricht. Indessen sind die *Collembolen*-Mandibeln sonst von thysanurenartigem Charakter, wie die von Folsom gut beschriebene Befestigungsweise der Muskeln zeigt und der weit nach hinten gelagerte Hauptgelenkknopf. Wir können somit die *Insekten, soweit ihre Mandibeln nicht einer sekundären Umbildung* oder Rückbildung anheimfielen, was namentlich für eine grosse Zahl von *Holometabolen* gilt, in die folgenden drei Gruppen einteilen:

[1]) „The Anatomy and Physiology of the Mouth-Parts of the Collembolan, Orchesella cincta L“. Bull. Museum Compar. Zool. Vol. XXXV N. 2, Cambridge Mass. 1899.

I. *Insecta monocondylia*: *Thysanura* (Entotropha und Ectotropha), Mandibeln nur mit *einem*, hinten gelegenen Gelenk. Muskeln mit Sehnen und Fasern befestigt.

II. *Insecta heterocondylia*: *Collembola*, Mandibeln ausser dem hinten gelegenen Hauptgelenk, noch mit einem oberen Nebengelenk. Muskeln mit Sehnen und Fasern befestigt.

III. *Insecta dicondylia*:[1]) *Pterygoten* mit beissenden Mundteilen, Mandibeln mit *zwei über*einander gelegenen Gelenken. Muskeln mit Sehnen befestigt. —

Die gedrungene, klumpige und häufig einem dicken Keil ähnelnde Gestalt der *Pterygoten*-Mandibeln ist genügend bekannt.

## 10. Der Epipharynx und das Labrum.

Derjenige Teil des Vorderkopfes, welcher oben mit der unmittelbar vor dem Vorderocellus gelegenen hinteren Begrenzung des Clypeus beginnt (Abb. 63 x) und dessen dorsale Teile Clypeus und Labrum vorstellen, ist *ein abgeplatteter Zylinder*, welcher sich nach vorne allmählich verschmälert. In der Unterfläche dieses Zylinders befindet sich, ziemlich weit nach hinten zu gelegen die schon besprochene Mundöffnung (Abb. 67 os). Diese Unterfläche ist, wie ich das oben auch von *Dermapteren* geschildert habe, fast ganz häutiger Beschaffenheit. Die in dieser Haut auftretenden Auszeichnungen, welche sich *vor* der inneren Mundöffnung befinden, bezeichnen wir auch hier, zusammen mit den im Innern des clypeolabralen Zylinders befindlichen Gebilden als *Epipharynx*. Im Vergleich mit den bei *Dermapteren* beschriebenen Verhältnissen muss alsbald bei *Machilis* auffallen, dass es sich nicht um ein einziges, zusammenhängendes Labroepipharyngealgerüst handelt, sondern dass, der äusseren segmentalen Abgliederung von Clypeus- und Labrumbezirk entsprechend, auch *zwei innere getrennte Gerüste auftreten*, von denen *das vordere im Labrumsegment, das hintere im Clypeopharyngealsegment* zu finden ist. Demgemäss nenne ich dieselben auch *labrales* und *clypeopharyngeales Gerüst*.

Das *labrale Gerüst* (Abb. 71 lba) besteht aus einem Paar *zweimal geknickter Balken*. Dieselben sind innen im Labrumsegment an den Seiten

[1]) Hiermit ist natürlich ein Kollektivbegriff gemeint, nicht eine phylogenetische Einheit!

befestigt und reichen, von vorne (etwas hinter dem Vorderrande beginnend) bis dicht vor die Grenze zwischen Labrum- und Clypeopharyngealsegment, wo sie in einem *Knoten* lbf befestigt sind, der dem dunkel gefärbten Aussenzapfen bei Dermapteren homolog ist (vergl. Abb. 11 und 17). Von diesem Knoten an ziehen die Balken unter ungefähr rechtem Winkel nach innen ab und bleiben in der Mitte eine Strecke voneinander entfernt. Diese inneren Äste (Abb. 71 lba) verbreitern sich am Ende und springen in eine kurze Spitze nach vorne in eine weit längere nach hinten vor (Abb. 64). Diese hintere Spitze läuft in eine Sehne aus, an welche sich ein Muskel befestigt lam 1, welcher am Clypeus nahe der Hinterecke desselben befestigt ist und schräg nach vorne und innen zieht. Durch ihn wird nicht nur das Labrumsegment zurück und nach unten gezogen, sondern auch dessen ventrale Haut gehoben. Er ist dem Muskel lam der Dermapteren vergleichbar, doch ist zu berücksichtigen, dass dieser von der Frons herkommt. Im übrigen kommen dem Labrumsegment nur schwache dorsoventrale Muskelfasern zu, welche ebenfalls die ventrale Haut des Labrumsegmentes nach oben ziehen, dieses also abplatten.

*Das clypeopharyngeale Gerüst* (Abb. 71 $\alpha\,\beta$) besteht aus einem ungefähr *schnallen*förmigem Bügel. Die Seiten des Clypeus, welche einen etwas verdickten Rand haben, reichen mit diesem noch etwas nach innen hinein hinter den Knoten des labralen Gerüstes. Hinter diesem nach innen abbiegenden Randwulst ist die Schnalle mit einem dünnen Fortsatz befestigt. An diesem befindet sich eine Biegung nach aussen $\beta$, weiter hinten wo die Schnalle dicker wird, biegt sie sich knieartig stark nach innen um und bildet einen kräftigen *Querbalken* $\alpha$, der in der Mitte etwas zapfenartig nach hinten vorgezogen ist und vorne etwas eingekerbt. Der Querbalken nähert sich der Unterfläche des Clypeoepipharyngealsegmentes. Dieselbe ist häutiger Natur nnd besitzt gerade unter dem Gerüst zwei rundliche *Gaumenfelder* (gam Abb. 75), welche in der Mediane sowohl wie jederseits aussen eine verdickte *Verstärkungsleiste* besitzen. Diese seitlichen Leisten x x sind nach vorne zugerundet, hinten aber mit dem Querbalken $\alpha$ $\alpha$ der Gerüst-Schnalle verbunden. Auch die *mediane* Verstärkungsleiste trifft hinten auf den Querbalken. Hinter diesem fand ich ebenfalls eine Verstärkungslinie jederseits, welche an den Querbalken angelehnt, nach hinten ungefähr die Fortsetzung

der seitlichen Verstärkungsleisten der Gaumenfelder bildet. Diese Linien (gst) bezeichne ich als *Gaumenstäbe*. Sie dienen sowohl der Haut hinter den Gaumenfeldern als Stütze, als auch länglichen häutigen Läppchen sl, welche sich seitwärts vor der inneren Mundöffnung befinden. An die Haut hinter den Gaumenfeldern steigen vom Clypeus vordere Pharynxmuskeln herab (phm 2). Die Gaumenfelder, welche mit ihrem Hinterrande etwas läppchenartig vorspringen (Abb. 71 $\gamma$), sind reichlich mit feinen Spitzchen (nach Art der Häutungshaare) besetzt, welche auf den beiden Feldern einander grösstenteils entgegenstehen, aber im übrigen nach innen und hinten gerichtet sind (Abb. 75). Die Anordnung ist eine asymmetrische. Die Gaumenhaut, welche nach hinten auf die Gaumenfelder folgt, zeigt anfangs auch noch einen Besatz von Spitzchen, weiterhin ebenso wie auf den genannten Seitenläppchen sl nur noch eine einfache Struktur von sehr kleinen Wärzchen oder Wellenlinien. An Muskeln des clypeopharyngealen Gerüstes sind zu nennen, ein *Quermuskel* (Abb. 71 qm), welcher die Hälften des elastischen Schnallenbügels aneinander zu drängen und dadurch gleichzeitig die Gaumenfelder nach unten zu drücken vermag. Er ist ein Muskel, der bei *Dermapteren* nicht vorkommt, aber dem Gaumenmuskelpaar (gam 1 Abb. 16) derselben vergleichbar, wenn man bedenkt, dass die Gaumenfelder bei *Machilis* nahe zusammenliegen, bei *Dermapteren* aber auseinander. *Drei Paar Epipharynxmuskeln* sind zu nennen, welche sämtlich aus dem hinteren Gebiet des Clypeus stammen, nämlich *innere* epm 1, welche sich ungefähr in dem Winkel zwischen Querbalken und Gaumenstäbchen befestigen und zwei Paar *äussere*, von denen die vorderen epm 2 sich an den inneren Rand der seitlichen Teile des Schnallenbügels befestigen, die hinteren epm 3 aber an der hinteren Biegung. Alle diese Muskeln bewirken ein Empor- und zugleich *Zurück*ziehen des clypeopharyngealen Gerüstes. Im Gegensatze dazu wird dieses Gerüst nach oben und *vorne* bewegt durch ein Paar *Medianleistenmuskeln* epm, welche ganz vorn und aussen am Clypeus sich ausbreiten und an der genannten medianen Verstärkungsleiste (Abb. 75 epm) über den Gaumenfeldern befestigt sind.

Die drei Paar Epipharynxmuskeln können als homolog den Muskeln gam, slm und slam der *Dermapteren* (Abb. 52) gelten, da sie nach Lage und Wirkung denselben im Wesentlichen entsprechen. Für die Median-

leistenmuskeln besitzen die Dermapteren kein Homologon, zumal sie ein einziges zusammenhängendes Labropharyngealgerüst aufweisen. Schliesslich sei noch erwähnt, dass die untere Haut des Labrumsegmentes hinten im mittleren Drittel dicht mit sehr feinen Haaren besetzt ist, welche schräg nach innen und hinten gegen die Mediane gerichtet sind. Weiter vorne kommt dann ein Bezirk von Wellenlinien, welche mit äussert kleinen Spitzchen kammartig besetzt, während noch weiter nach vorne eine sehr zierliche Struktur von rundlichen oder etwas unregelmässigen Zellen zu beobachten ist, welche das *ganze Vordergebiet* des Labrumsegment auszeichnen, also auch seitlich und etwas nach oben sich erstreckt. Mitten in dieser hübschen Mosaikstruktur befindet sich eine den *Vorderpol* des Körpers bezeichnende Delle, welche ich *Mosaikgrube* nennen will. Die Zellfelder sind in dieser Grube und ihrer Nachbarschaft, namentlich im medianen Gebiete *kleiner* als weiter nach aussen zu. Oberhalb der genannten mit Spitzchen besetzten Wellenlinien befindet sich eine Gruppe von spitzen Wärzchen oder kurzen Stachelchen. Im Grunde der Mosaikgrube habe ich bei jungen sowohl als auch erwachsenen *Machilis polypoda* einen kleinen *Porus* beobachtet und ein feines, von demselben abgehendes Kanälchen, welches ziemlich tief in das Labrumsegment hineinzieht. Bei *M. tirolensis* bemerkte ich ein solches Kanälchen und Porus nicht, aber die benachbarten, an die Mosaikgrube schliessenden Zellen zeigen eine auffallende, sehr gestreckte, drüsige Gestalt. Ob es sich hier um Drüsen handelt, hoffe ich später mit lebenden Objekten ermitteln zu können. Der Clypeus ist reichlich und lang beborstet, auch dem Labrum kommen eine Anzahl starker Tastborsten zu.

## 11. Der präorale Kopf.

Nachdem im 11. Kapitel über den Dermapteren-Kopf das präorale Cephalon bereits erörtert worden ist, kann ich mich hier auf wenige Bemerkungen beschränken.

Meine dort gegebene Auffassung des Labrumsegmentes und Clypeopharyngealsegmentes wird durch die Verhältnisse bei *Machilis* nicht nur bestätigt, sondern erhält auch noch eine wichtige neue Stütze dadurch, dass *jedem der beiden Segmente* ein *besonderes*, selbständiges inneres Gerüst zu-

kommt, ein Umstand welcher uns gestattet das Labroepipharyngealgerüst der *Dermapteren* als ein aus zwei (oder zwei Paar) Gerüsten verwachsenes aufzufassen. Obwohl die innere Mundöffnung von *Machilis* hinten noch im Bereich des Clypeuszylinders liegt, muss das *Clypeopharyngealsegment* dennnoch *präoral* bezeichnet werden, da sein Gerüst und seine Muskeln sich entschieden *vor* dem Munde befinden.

Das *Frontoocellarsegment* ist bei *Machilis* durch die Lage der drei Ocellen besonders deutlich umschrieben und die Facettenaugen bezeichnen sehr scharf die hintere dorsale Grenze des Protocephalon.

## 12. Ordo Microcoryphia[1]) m.

Facettenaugen in der Mediane an einander stossend, hintere Ocellen bei den Erwachsenen bisquitförmig. Fühler auf einem Antennenlophos stehend, ihre Geissel vielgliedrig, Antennensegment mit zwei grossen, nach unten tief in den Kopf eingesenkten, antennalen Tentorien, mittelst derer das Proto- und Deuterocephalon gegen das Tritocephalon bewegt werden kann. Ausserdem ist das Rhynchocephalon gegen den übrigen Kopf beweglich. Labrum- und Clypeopharyngealsegment je mit einem selbständigen, inneren Gerüst. Ein typisches, hinten eingeschnürtes Occiput fehlt. Vertex sehr klein und ohne Y Naht, vom Frontalbezirk durch die Facettenaugen getrennt, Frons zwischen den drei Ocellen. Wangen schwach entwickelt, mit Gelenkgrube für die Mandibeln.

Kein sinus maxillaris ausgebildet. Mandibeln nur mit einem Gelenk, vorn mit Schabezähnchen, innen mit Mahlplatte und Verbindungssehne, im Übrigen länglich gestreckt, in der Hinterhälfte mit starken Muskeln. Innere Coxomerite der Maxillopoden ohne eigentliche Zähnchen, äussere dick, gedrungen und mit Sinneswärzchen. Ausbildung eines maxillaren Praetrochanter. Telopodite bestehend aus einem Trochanter (mit starkem Fortsatz) zwei Praefemora, Femur, Tibia und zwei Tarsalia, ohne Podotelson. Mentum gross, von dem in der Querrichtung dreilappigen Submentum nicht ganz vollständig getrennt. Maxillares Tentorium kräftig entwickelt, hinten mit

---

[1]) *μικρός* klein und *κορυφή* Scheitel.

Querbalken. Mit dem Submentum häutig verbunden. Zwischen Occipitalrand und Tentoriumquerbalken finden sich selbständige Lateralsklerite als Verbindung zwischen Kopfkapsel und Tentorium. Mandibularer Anteil am Tentorium sehr schwach, vorne nicht durch Arme mit der Kopfkapsel verbunden. Labiopodenhüften getrennt, mit äusseren und inneren Coxomeriten, welche mit Sinneswärzchen besetzt sind und vom Ende aus eingeschnitten, sodass vier Coxomeritpaare vorhanden zu sein scheinen. Telopodite dreigliedrig, ohne Podotelson. Hypopharynx mit Zunge und sehr deutlichen Nebenzungen, aber ohne beborstete Abschnitte. Zwischen innerer Mundöffnung und Hypopharynx ein Schlundbürstenfeld. Vor der Mundöffnung mit Spitzchen besetzte Gaumenfelder, welche das clypeopharyngeale Gerüst stützt. —

Von der übrigen Organisation erwähne ich nur noch Folgendes: Thoraxsternite verkümmert, Tergite in die Seiten herabgreifend, Pronotum kapuzenartig den Hinterkopf bedeckend. Mikrothorax verkümmert, Mittel- und Hinterbeinhüften mit Stylus besetzt. Abdomen mit den bekannten drei langen und vielgegliederten Endfäden (Cerci und Terminalfilum.)

Proabdomen mit Coxalsäcken, Pro- und Medialabdomen mit Styli. Medialabdomen beim ♀ mit zwei Paar Ovipositoren, beim ♂ mit zwei Paar Parameren. Gonocoxite der Genitalanhänge gut entwickelt. Malpighische Gefässe ziemlich zahlreich. Bauchmark aus 12 (3 + 9) getrennten Ganglienknoten bestehend.

Tracheensystem ausmündend mit 2 thorakalen und 7 abdominalen Stigmenpaaren. Körper mit Schüppchen bekleidet.

## 13. Frühere Beobachtungen über den Kopf von Machilis und andern Hexapoden.

Oben habe ich im zweiten Kapitel bereits auf die Arbeit von J. Oudemans über die Organisation von *Machilis* hingewiesen und glaube das dort Ausgeführte durch die weiteren Kapitel zur Genüge begründet zu haben. Oudemans Arbeit enthält so manches Wertvolle, dass ich mich gedrungen fühle ihre Bedeutung besonders anzuerkennen, um so mehr als sie mir selbst zur Anregung gedient hat und zu manchen Vergleichen auch

schon in früheren Jahren mir wertvolle Dienste leistete. Oudemans hat seine Präparate sowohl durch Präparieren unter Gläsern als auch durch Schnittmethode gewonnen. Ich habe mich ausschliesslich der Präparation unter Gläsern bedient. Da ich trotzdem vieles feststellen konnte, was Oudemans nicht beobachtet hat, so dürfte das zeigen, dass derjenige, welcher im Präparieren etwas Geschicklichkeit erlangt hat, wo es irgendwie tunlich ist, mit dieser Methode besser zum Ziele kommt. Die Schnittmethode wende man nur da an, wo es unbedingt notwendig ist, wie z. B. beim Baue des Gehirns. Die Gestalt und der Zusammenhang schwieriger aufzufassender Teile der Haut oder des Hautskelettes, sowie der Verlauf von Muskeln und ihre Verbindung mit Hautskelettteilen ist in vielen Fällen durch direkte Präparation besser zu erkennen. Das Zerschneiden mit dem Mikrotom wirkt für die Auffassung schwierigerer Gestaltverhältnisse manchmal geradezu störend. — Von Oudemans Mitteilungen über den *Machilis*-Kopf will ich nur Folgendes berichtigen: Seine Abb. 3 stellt Clypeus und Frons viel zu scharf begrenzt und gegeneinander zu stark geschnürt dar. Die Mandibeln sind in einem Schlitz oben (!) an der Kofkapsel inseriert gezeichnet. Der Trochanter (Abb. 27) und die Verbindungsweise der Zunge mit den Nebenzungen (Abb. 30) stimmt nicht ganz mit meinen Beobachtungen überein. Über Kehle und Unterlippe sprach ich schon oben. Auf kurze anderweitige Angaben anderer Autoren über den *Machilis*-Kopf brauche ich nicht einzugehen.

* * *

Der „American Naturalist“ vol. XXXVI, Boston 1902 enthält zwei auf den Insektenkopf bezügliche Arbeiten, deren eine, von V. Kellogg „The Development and Homologies of the Mouth Parts of Insects“ S. 683—706 sich grösstenteils auf *Holometabola* bezieht und deshalb hier nicht in Betracht kommt, während dagegen die andere von John H. Comstock (and Chujiro Kochi) „The Skeleton of the Head of Insects“ S. 13—45 gerade niedere Insektenformen berüchsichtigt und daher besprochen zu werden verdient.

Comstock hat bei seinen eigenen Untersuchungen offenbar nur die Lupe benutzt und daher, trotzdem er grosse Formen ausgewählt hat,

schwieriger zu beobachtende Organisationsverhältnisse des Hautskelettes und der Mundwerkzeuge nicht berücksichtigt, auch auf Muskeln ist er nicht eingegangen und hinsichtlich der Gruppen vermisst man gerade die beiden von mir besonders behandelten Gruppen der *Thysanuren* und *Dermapteren*. Bemerkenswert ist ferner der Umstand, dass Comstock die „Cervical Sclerites“ zwar oberflächlich bekannt sind, nicht aber als Teile eines *einheitlichen*, von mir als Metacephalsegment und insbesondere bei *Hexapoden* als *Mikrothorax* erörterten *Segmentes*.[1]) S. 23—26 gibt C. eine Besprechung der „Structure of a typical Segment,“ wobei er namentlich die Thorakalsegmente ins Auge fasste. Aber dabei ist wieder die Muskulatur unberücksichtigt geblieben und ebenso alle feineren Bauverhältnisse des Hautskelettes, soweit sie nicht bei grösseren Formen mit der Lupe erkennbar sind. Daher huldigt er wie zahlreiche andere frühere Autoren der Anschauung der „subsegments“, spricht daher von „praesternum“, „sternellum“ und „poststernellum“. Einer kritischen Stellungnahme in diesem Gebiete glaube ich mich enthalten zu können, nachdem ich mich anderweitig darüber ausgesprochen habe.[2]) Comstocks Anschauung über die „Cervical sclerites“ entspricht also seinen Annahmen von der Beschaffenheit des „typical Segment“.

Hinsichtlich der *Kopfkapsel* habe ich mehrere Angaben Comstocks zu berichtigen: Seine Abb. 4 von der „cockroach“ gibt „von einer nicht ganz richtigen Darstellung der Mundteile abgesehen“ zwischen G und Pg eine Linie (die Wangenleiste) welche statt gegen den oberen Rand des Hinterhauptloches gegen den Scheitel verlaufend gezeichnet ist. Die Unterscheidung der „Genae“ und „Postgenae“ wie er sie gibt, ist aber auch ausserdem vom vergleichend-morphologischen Standpunkte aus unhaltbar, denn *die Wangen liegen*, wie ich im Vorigen gezeigt habe, *unterhalb der Wangenleisten*. Daher sind nur die „Postgenae“ wirkliche Wangen, der von ihm als „Genae“ bezeichnete Bezirk bei *Periplaneta* lässt sich mit dem

[1]) Vergl. „Über den Thorax der Insekten“ Nova Acta d. kais. Akad. d. Naturf. Halle 1902, und 1904 daselbst über „vergleich. Morphologie und Systematik der Embiiden“, sowie 1904 im Archiv für Naturgesch. Berlin, über „vergleich. Morphol. und Systematik der Japygiden.“

[2]) Vergl. auch Archiv für Naturgesch. 1903, über die Interkalarsegmente der Chilopoden und die Zwischensegmente der Insekten.

von *Machilis* beschriebenen *Subocularfeld* vergleichen und ist jedenfalls ein laterales Gebiet des Vertex. Eine erfreuliche Übereinstimmung kann ich hinsichtlich der Beziehung zwischen Clypeus und Ocellenlage konstatieren, indem Comstock (wie seine Abb. 1 und 19 zeigen) die Ocellen ebenfalls dem Clypeus zuschreibt. Er hat u. A. auch die Neuropteren-Gattung *Corydalis* untersucht, welche namentlich im Larvenstadium sehr schön zeigt, dass das durch eine höchst feine Naht vom Clypeus (Postclypeus) abgesetzte, annähernd dreieckige Sklerit, welches den Mandibelgrund von oben schützend bedeckt, *ein Stück des Clypeus* ist, welches ich als *Exoclypeus* bezeichne. Dieser *Exoclypeus* ist nämlich dem von mir als *mandibulares Basalstück* bei Dermapteren beschriebenen Sklerit *nicht* homolog, da dieses Letztere *ausserhalb des oberen Mandibulargelenkes liegt und an der äusseren Basalkante der Mandibel*, während der *Exoclypeus hinten unter seiner Aussenkante selbst an dem oberen mandibularen Gelenkknopf beteiligt ist und über dem oberen Basalgebiet der Mandibel liegt.*

Ein mandibulares Basalstück im Sinne der *Dermapteren* besitzen auch die *Blattodeen* (bei *Periplaneta* z. B. zieht es sich, wie auch Comstock in seiner Abb. 2 ziemlich deutlich angiebt, als ein sichelartiges Stück im Bogen aussen hinter dem Mandibelgrunde, durch eine schwache Linie etwas gegen den Clypeus abgesetzt und auch nur auf sehr schmaler Strecke an diesen stossend), die *Mantodeen* (bei welchen es gut begrenzt und ähnlich den Dermapteren ganz *getrennt* vom Clypeus, *ein kleines Randgebiet der Subocularfelder* bildet), die eigentlichen *Orthopteren* (welche sich mehr oder weniger den Schaben ähnlich verhalten), u. A. — Immer aber liegt es *oberhalb* der Wangenleistenlinie und kann also entweder eine sekundäre Ausgestaltung des Suboculargebietes sein, entstanden im Zusammenhang mit dem oberen Mandibulargelenk, oder ein kleines Pleurit des Mandibularsegmentes. Physiologisch bildet es ein äusseres Widerlager (Widerlagergelenk) für den Exkurs der Mandibel und gibt bei manchen Formen auch wohl dem Drucke derselben elastisch etwas nach, vermittelst der Naht, welche das Basalstück von der Kopfkapsel absetzt.

Comstock vermengte also zwei vergleichend-morphologisch ungleichwertige Stücke und erklärte *beide* für „antecoxal piece of the mandible“ und geradezu als „trochantin of the mandible“. Das Letztere lässt sich

überhaupt nicht nachweisen, selbst wenn man das mandibulare Basalstück als ein Pleurit in Anspruch nehmen will.

Auf die vergleichende Anatomie der Mundteile ist Comstock nicht näher eingegangen, nur hinsichtlich des „Hypopharynx“ (S. 35) macht er einige kurze Mitteilungen. Beachtenswerter erscheinen mir seine Mitteilungen über das Tentorium und andere endoskelettale Teile der Kopfkapsel der Orthopteren, namentlich auch die „Frontal Plate of the Tentorium“ von *Periplaneta*.

Auf S. 38 hat Comstock eine Segmentübersicht des Kopfes gegeben, die zwar der Zahl (7) nach mit meiner oben ausgeführten Erklärung übereinstimmt, nach der Auffassung der Segmente aber sehr wenig, denn seine sieben Segmente würden sich auf die drei von mir unterschiedenen Hauptabschnitte des Kopfes so verteilen, dass dem Protocephalon nur *ein*, dem Deuterocephalon *zwei* und dem Tritocephalon *vier* Segmente zukämen. Er unterscheidet zwischen Mandibel- und Maxillen-Segment ein m. E. ganz unhaltbares „Superlingual“-Segment, für das er auch tatsächlich keine besondere Begründung beigebracht hat. Es scheint, dass Folsoms Untersuchung über die Entwickelung der Collembolen-Mundteile ihn zu diesem „Superlingual“-Segment veranlasst haben; aber seine Deutung nach dieser Richtung ist nicht beweiskräftig. Folsom gibt *sieben* ventrale Hirnwölbungen an, deren 4. er dem Mandibel- und deren 5. er einem Superlingualsegment zuspricht, während ebenso gut das 5. dem Mandibel- und das 4. dem Prämandibularsegment beigestellt werden kann. Comstocks 3. Kopfsegment, wird als „2. Antennal“ aufgeführt. Das Segmentenschema auf S. 21 ist namentlich hinsichtlich der Lage des Vorderdarms und der Mundöffnung durchaus unhaltbar, da fast das ganze Deuterocephalon als präoral angegeben wird.

Heymons u. a. bezeichnen als *Protencephalum* jenen präoralen vordersten Gehirnteil, welchem die Labrumnerven und Sehnerven (sowie optischen Ganglien) angehören. Er soll aber nur *ein* Ganglienpaar darstellen. Nach meinen obigen Untersuchungen über das *Protocephalon* (nicht zu verwechseln mit Prot*en*cephalon!) und dessen Zusammensetzung aus *drei Segmenten* bei niederen Hexapoden muss entweder das Protencephalon ursprünglich mehr als ein Ganglienpaar darstellen (und in diesem Sinne

liesse sich in der Tafel 7 der Arbeit Janets über „la tête de l'Insecte“ vielleicht das Schema auffassen, welches er vom Protecerebrum gibt, an welchem vorne der Teil mit dem Nervus Labri deutlich abgesetzt erscheint) oder es sind noch andere Ganglien auf jene Segmente zu beziehen, wie das Janet dort versucht hat, oder aber verschiedene vorderste Gehirnteile sind bei Hexapoden verkümmert. In dieser letzteren Hinsicht, welche mir die meiste Wahrscheinlichkeit hat, sind Heymons Untersuchungen über die vordersten Gehirnteile bei den *Chilopoden*, die er in seiner „Entwickelungsgeschichte der Scolopender“ 1900 veröffentlichte, besonders beachtenswert.

Ausser der schon genannten Arbeit von Folsom verdienen die hübschen „Studien über die Entwickelung der apferygoten Insekten“ welche H. Uzel 1898 anstellte, schon deshalb erwähnt zu werden, weil er sich ausser andern Dingen die hier nicht in Betracht kommen, mit der Entwickelung der Mundteile von *Campodea staphylinus* Westwood beschäftigt hat, worauf sich auch seine Tafel VI bezieht. Insbesondere suchte ich mir hinsichtlich des Verhältnisses der Lage der Labiopoden und Maxillopoden ein überzeugendes Bild zu machen. Aber es ist mir nicht möglich aus seinen Fig. 77—85, welche z. T. einen etwas schematischen Eindruck machen, einen entsprechenden sicheren Schluss zu ziehen. Für das entwickelte Tier findet sich nur die einzige Abb. 85. Die Abb. 76 stellt eine Kopfkapsel dar, bei welcher die Tergite meines Mikro- und Promikrothorax als „Tergite der Kiefersegmente“ bezeichnet werden. Die wirklichen Tergite der Kiefersegmente, welche *vor* jenen liegen und auch dort offenbar ein *Syntergit* mit Sagittalnaht vorstellen, sind stark entwickelt. Ein als „unregelmässige Zeichnung“ angedeutetes Gebilde bedarf weiterer Aufklärung. Interessant ist übrigens Uzels Abb. 41 und 42, vom älteren Keimstreif und einem Embryo vor dem Auskriechen, woraus hervorgeht, dass die von mir als Tergite des Mikro- und Promikrothorax bezeichneten Gebilde, beim Embryo *stärker* ausgebildet sind als bei den Erwachsenen. Ungewiss ist auch die Bedeutung der „elliptischen Felder“.

Die Kopfentwickelung von *Campodea* zeigt manche Anklänge an die der *Collembolen*, wobei ich betonen will, dass das was bei Uzel als „Chitinstrang“ aufgeführt wird, (ein Name der mir nicht glücklich gewählt vor-

kommt) bei Folsom für *Anurida* zutreffender als Plica oris beschrieben wird, wobei allerdings zu bemerken ist, dass diese Falte bei *Anurida* offenbar viel stärker entwickelt ist als jener „Strang“ von *Campodea*.

Das Protocephalon von *Campodea* ist zweifellos schwächer entwickelt als das von *Machilis*.

## 14. Rückblick.

Meine Untersuchungen über die Segmentation des Insektenkörpers haben mich zu manchen Ergebnissen geführt, welche von den bisherigen Anschauungen beträchtlich abweichen. In Bezug auf die Ausbildungsweise der Segmente verdienen drei Gruppen unterschieden zu werden:

a) *Segmente*, welche schon am jungen Keimstreif angelegt wurden und auch bei den Entwickelten wohl ausgeprägt sind. [Hierhin die sehr bekannten Segmente, wie z. B. Antennensegment, die drei Kiefersegmente und die drei beintragenden Thorakalsegmente.]

b) *Segmente*, welche schon am jungen Keimstreif angelegt werden, bei den Entwickelten aber nicht mehr ausgeprägt sind, oder nur in Überbleibseln angedeutet. [Hierhin sind zu rechnen bei den *Chilopoden* das Präantennensegment und bei den Hexapoden das Prämandibularsegment.]

c) *Segmente*, welche am Keimstreif mit andern zusammen angelegt sein können, für sich allein aber nicht oder meist nur schwach angezeigt sind, bei den postembryonalen Formen aber deutlich ausgeprägt. [Hierhin gehören die drei Segmente des Protocephalon und die Urzwischensegmente an Thorax und Abdomen.]

* * *

Von den 7—8 Segmenten, welche ich am *Kopfe* der *Thysanuren* und *Dermapteren* unterscheide, gehören also *vier* zur Segmentgruppe a, *ein* bis zwei zur Gruppe b und *drei* zur Gruppe c. — Sieben von diesen Segmenten habe ich im Vorigen nach Erwachsenen und Larven untersucht und als Segmente charakterisieren können, das 8. (Praemandibularsegment) habe

ich nur mit Rücksicht auf die Untersuchungen von embryologischer Seite angenommen und bei Dermapteren die beschriebenen parastomatischen Gebilde darauf bezogen.

Zum Schlusse gebe ich eine Gegenüberstellung einiger der wichtigsten Organisationsverhältnisse des Kopfes der beiden im Vorigen näher untersuchten Insektenordnungen, wobei besonders die primitive, lose Zusammenfügung des *Machilis*-Kopfes zu beachten ist:

| | *Dermaptera* | *Microcoryphia* |
|---|---|---|
| Labrumsegment. | Labroepipharyngealgerüst. | Labralgerüst. |
| Clypeopharyngealsegment. | | Clypeoepipharyngealgerüst. |
| Frontoocellarsegment. | Rhynchocephalon mit dem übrigen Kopf fest verbunden, aber meist oben durch Naht abgesetzt. | Rhynchocephalon gegen den übrigen Kopf nicht nur abgesetzt, sondern auch dagegen beweglich. |
| Suborale Bürsten. | Zungenbürste der Zunge anliegend. | Schlundbürste von der Zunge scharf getrennt. |
| Antennensegment. | Lophoi fehlen. Schwache antennale Tentoriumäste sind fest mit dem übrigen Tentorium verbunden. | Lophoi vorhanden. Es sind zwei grosse, gegen die übrige Kopfkapsel bewegliche und mit dem gnathalen Tentorium nicht verbundene, antennale Tentorien ausgebildet, welche vorn und innen |

| | *Dermaptera* | *Microcoryphia* |
|---|---|---|
| | | von den Antennenlophoi an der Kopfkapsel befestigt sind. Sie steigen zu Seiten des Oesophagus tief herab. |
| Wangenbildung. | Vorder- und Hinterwangen verwachsen und ein durch die Wangenleiste abgegrenztes Synpleurion bildend. Sinus maxillaris vorhanden. | Vorderwangen frei und schwach. Hinterwangen kräftig ausgebildet. Kein Sinus maxillaris. |
| Mandibularsegment. | Sternit im Hypopharynx mit beborsteten Skleriten ausgeprägt. | Hypopharynx ohne beborstete Sklerite. |
| | Mandibeln mit zwei Gelenken, einem oberen und einem unteren. Aussen bildet ein mandibulares Basalstück ein Widerlager. Muskeln nur mit Sehnen an die Mandibeln tretend. | Mandibeln nur mit einem Gelenk hinten. Muskeln grösstenteils mit ihrer Fasermasse in den Mandibeln ausgebreitet. |
| | Mandibularer Tentoriumanteil mit dem maxillaren verwachsen und | Mandibularer Tentoriumanteil sehr klein, nur im Mediangebiet ent- |

| | *Dermaptera* | *Microcoryphia* |
|---|---|---|
| | als mandibulare Arme vorne mit der Kopfkapsel verwachsen. | wickelt, daher ohne vordere Verbindung mit der Kopfkapsel. |
| Hinterhaupt. | Hinterhauptloch typisch entwickelt, oben von einem Occipitalgebiet umgeben, an den Seiten von den Hinterwangen. | Kein eigentliches Hinterhauptloch, da der ganze Hinterkopf weit geöffnet ist und die Hinterwangen weit auseinanderliegen. |
| Scheitel. | Vertex jederseits einheitlich gebildet, hinten als Occiput abfallend. Y Naht fast immer typisch entwickelt. | Scheitel durch die in der Mediane zusammenstossenden Augen in zwei Abschnitte gebracht, den Vertex s. str. hinter und die Subocularfelder unter den Augen. Von der Y Naht ist nur der sagittale Arm vorhanden. |
| Maxillopodensegment. | Telopodite 5-gliedrig, aus Trochanter, Praefemur, Femur, Tibia und Tarsus gebildet, ausserdem ein Podotelson vorhanden. Submentum einheitlich und deutlich abgegrenzt. | Telopodite 7-gliedrig, aus Trochanter, 2 Praefemora, Femur, Tibia und 2 Tarsalia bestehend, ohne Podotelson. Submentum dreilappig, unvollständig vom Mentum getrennt. |

| | *Dermaptera* | *Microcoryphia* |
|---|---|---|
| Labiopodensegment. | Nur ein Coxomerit. Podotelson und Furkula labialis vorhanden. | Zwei Coxomerite ausgebildet, von denen das innere ganz, das äussere halb gespalten ist. Kein Podotelson. Furcula labialis verkümmert. |

Wenn ich die vorstehenden Untersuchungen hier abschliesse, so geschieht es in der Hoffnung, in einer späteren Arbeit das Studium des Insektenkopfes fortzusetzen.

Berlin, den 9. April 1904. Karl W. Verhoeff.

# Schlussanmerkungen.[1])

In jüngster Zeit (vergl. namentlich den Zoologischen Anzeiger 1904) sind wieder neue Versuche zur Verbesserung der systematisch-phylogenetischen Darstellung der grösseren Gruppen der *Hexapoden* unternommen worden. Obwohl ich durchaus nicht verkenne, dass dadurch Anregung gegeben wird, glaube ich doch besonders betonen zu müssen, dass unsere Kenntnisse des *Baues* der Insekten noch lange nicht so weit gediehen sind, wie es von mancher Seite angenommen zu werden scheint. Dass in zahlreichen fundamentalen Organisationsverhältnissen noch grosse Unklarheit herrscht und viele ganz wesentliche Dinge vielfacher Aufklärung bedürfen, glaube ich in einer Reihe von vergleichend-morphologischen Arbeiten den Fachgenossen vor Augen geführt zu haben. M. E. handelt es sich also in erster Linie darum, durch *eingehende Arbeiten über den Bau der Insekten, und zwar im Anschluss an die systematischen Gruppen, unsere Kenntnisse zu erweitern,* dann ergeben sich die verbesserten Systeme als reife Frucht ganz von selbst.

Handlirsch hat in Nr. 23 des Zoolog. Anzeigers 1904, S. 733 einen Aufsatz „Zur Systematik der Hexapoden“ veröffentlicht, welcher eine Fortsetzung darstellt „Zur Phylogenie der Hexapoden“ in den Sitz.-Ber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien 1903, Bd. CXII, Oktober. Auch in diesem neueren Aufsatze sind unsere Kenntnisse vom Bau der Insekten kaum bereichert, aber zahlreiche „Ansichten“ vorgetragen, welche sich auf vorläufig noch nicht näher ausgeführte paläontologische Befunde stützen, bei welchen, nach jenen beiden Aufsätzen zu urteilen, fast nur das Flügelgeäder berücksichtigt

[1]) Beigefügt nach Fertigstellung des übrigen Druckes! (Anfang August 1904.)

wird. Wenn Börner auf S. 524 des Z. A. 1904 schreibt, dass wir „bei der Verwandtschaftsbestimmung der meisten Insektengruppen auf die Paläontologie verzichten müssen, da die in Betracht kommenden alten Fossilien nicht genügend erhalten sein können, um Schlüsse auch auf den Bau der Mundteile u. s. w. zu gestatten," so kann ich dem, mindestens in Rücksicht auf das *Paläozoikum,* vollkommen beistimmen und Handlirsch eigene Angaben sind trotz der Studien „die sich auf Tausende von Formen erstrecken" nur ein neuer Beweis dafür, wie wenig zuverlässig die paläontologischen Handhaben auf dem Gebiete der Tracheaten sind, wenigstens soweit paläozoische Schichten in Betracht kommen. Je mehr wir aber jetzt einsehen müssen, wie lückenhaft noch die bisherigen Kenntnisse vom Bau des Insektenkörpers sind, desto krasser tritt die Unzulänglichkeit der älteren und meist auch neueren Fossilien zu Tage. Während die Forscher an den lebenden Formen meist *zu wenig* sehen, wird an den fossilen nicht selten *zu viel* gesehen! — Wenn schon manche recente Formen uns bis zur einigermaassen befriedigenden Klärung grosse Schwierigkeiten machen, dann liegt es auf der Hand, dass jedes ältere fossile Insekt nur mit der grössten Vorsicht benutzt werden kann. Handlirschs dankenswerte Bemühungen erkenne ich natürlich vollkommen an, aber seine Schlüsse mache ich grösstenteils nicht mit. Dass übrigens *gerade die Flügel* für die Verwandtschaftsbestimmungen der grösseren Gruppen *wenig geeignet sind,* ergibt sich aus der Einfachheit ihrer oft fächerartigen Anlage sowohl als auch der Leichtigkeit, mit welcher gerade diese Organe einerseits verkümmern und ganz verschwinden, andererseits den mannigfaltigsten Anpassungen und Umbildungen unterliegen. Ferner haben mir verschiedene Kollegen mit denen ich dies besprochen habe, in solcher geringeren Bewertung der Flügel vollkommen beigestimmt.

Handlirsch hat im Zoolog. Anz. wiederum eine Zusammenstellung der Hauptgruppen gebracht, welche nur die *Namen* enthält, aber keine sachlichen Definitionen. Die zahlreichen „Einwände" auf S. 751 sind ebenfalls grösstenteils nur Behauptungen, ohne irgend einen [an der Hand der bekannten Tatsachen zu gebenden] Versuch einer wirklichen Begründung.

Deshalb gehe ich auch nur noch auf wenige Punkte des Aufsatzes Handlirschs ein: Im Punkt 26 „Sogenannte *Holometabola* ist kein natür-

licher Begriff", stimme ich vollkommen mit Handlirsch überein, aber die Begründung fehlt und das ist die Hauptsache. Es soll „ein Hauptfehler der meisten bisher aufgestellten Stammbäume resp. Systeme" darin liegen, „dass man sich meist bemühte, alles von noch heute lebenden Formen abzuleiten, in denen wir ja doch nur die Endglieder von Entwickelungsreihen sehen können." M. E. ist dieser angebliche „Hauptfehler" eher das Gegenteil und wenn man auch zugeben will, dass die heutigen Formen „Endglieder" sind, so darf doch nicht vergessen werden, dass es in erster Linie darauf ankommt, *wie lang die einzelnen Zweige* sind, deren Endglieder in Betracht kommen und *wo sie sich abgezweigt haben, höher oder tiefer,* — im Bilde des Baumes bleibend — also ob wir es etwa mit einem Zweigleinstück unten nahe der Wurzel, oder oben in einem hochragenden Aste zu tun haben. Einen *vollkommenen* Stammbaum will ja auch wohl kaum Jemand ermitteln können, aber zu einer *annähernd* richtigen Feststellung der Verzweigung können wir um so mehr gelangen als die ungeheure Formenfülle uns in keiner Klasse so viel Anknüpfungspunkte bietet wie bei den Insekten.

Im Übrigen will aber der wissenschaftliche Zoologe doch auch noch, von aller Phylogenie abgesehen, *die tatsächlichen Übereinstimmungen und Verschiedenheiten* aller systematischen Kategorien kennen und verstehen lernen, um die richtige Übersicht über den Bau der Lebewesen zu gewinnen!

Zwei Hauptmängel haften den Erörterungen Handlirschs an, nämlich einmal der Umstand, dass er aus dem *Nichtvorkommen* irgend einer recenten Gruppe in gewissen Schichten den Schluss zieht, dass sie erst in späteren Perioden sich abgegliedert hätte, während doch ein viel wahrscheinlicherer Schluss in unserer Unkenntnis zu suchen ist, zumal wenn man bedenkt, dass jedes fossile Insekt genau überlegt einem Zusammentreffen ungewöhnlich und selten günstiger Verhältnisse seine Erhaltung verdankt. Es sollen die sehr niedrig organisierten *Dermapteren* „auf die *Orthoptera* s. str. und *Phasmoidea*" zurückgeführt werden (vergl. auch in den Wiener Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. die beigegebene Tafel!), was nach den bekannten beiderseitigen Organisationsverhältnissen an Kopf, Thorax und Abdomen, total unmöglich ist. Von den *Thysanuren* sagt Handlirsch selbst „die Paläontologie bietet vorläufig keinen Anhaltspunkt." Dasselbe hätte er bei *Dermapteren, Isopteren* und noch andern Ordnungen auch getrost

schreiben sollen! Sodann soll die ganze Pterygoten-Welt auf ein *den noch immer ganz ungenügend bekannten Palaeodictyoptera* höchst ähnliches *Protentomon* mit zwei Flügelpaaren zurückgeführt werden, während doch andere Forscher und unter ihnen vor Allem auch unser Altmeister F. Brauer längst einsahen, dass es richtiger ist, von den *Apterygoten* zu beginnen und dass auch die *Chilopoden* nicht einfach unberücksichtigt gelassen werden dürfen.

Mit dem nach Handlirsch geflügelten *Protentomon* wird die phylogenetische Forschung nicht nur mitten in den *Opisthogoneaten* begonnen, statt an der Basis, sondern auch einseitig auf die Flügel konzentriert, während die *Berücksichtigung aller Hexapoden* (und auch der *Myriopoden*) *das Studium mit Notwendigkeit mehr auf die gesammte Organisation lenkt.* Die Kenntnis der Verwandtschaft der grossen Gruppen darf um so weniger auf die Frage nach der Entstehung der *Flügel* zugespitzt werden, als wir einerseits in derselben nicht den Hauptpunkt des Interesses erblicken können, zumal mit Rücksicht auf die Massen von *ungeflügelten Pterygoten*, andererseits eine *heterophyletische Entstehung der Flügel* ebenso wenig ausgeschlossen ist wie die Heterophylogenie der Holometabola.

Soweit ich die Organisation der lebenden und toten *Opisthogoneata* kennen gelernt habe, halte ich mich zu dem Schlusse berechtigt, dass die *Ordnungen der Hexapoden spätestens im Karbon bereits ihre Selbständigkeit erhalten haben* müssen, dass der Flügelerwerb und noch mehr die Abtrennung der *Hexapoden* von myriopodenartigen Formen in *vordevonische* Zeiten fällt, aus denen uns überhaupt keine einschlägigen paläontologischen Zeugnisse mehr vorliegen.

Die einzelnen Zweige am Stammbaume der *Opisthogoneata* traten gleichwohl teilweise *nach*einander auf, und da sich unter den recenten Gruppen die einen im Zeitenlauf viel, die andern wenig umänderten, so blieben uns viele Bruchstücke erhalten, welche heute gestatten, aus dem *Nebeneinander* einen grossen Teil des *Hintereinander* zu enträtseln.

Dass die *Pterygoten*-Welt von dem *Protentomon* wie es Handlirsch auf S. 135—137 der Verh. zool. bot. Ges. Wien 1904 definiert, nur *teilweise* abstammen kann, geht schon daraus hervor, dass als „seine Jugendformen wasserbewohnende Raubtiere“ angenommen werden, während die *terrestrische*

Natur der *Urhexapoden* allgemein anerkannt ist und durch die *Myriopoden* und *Thysanuren* bestens begründet.

Hiermit will ich also den Wert des *Protentomon* für die Ableitung *einiger* Insektenordnungen (amphibiotischer) durchaus nicht in Abrede gestellt haben.

Handlirsch hat darin vollkommen Recht, dass nicht nach einem einzigen Organ die Verwandtschaft grösserer Gruppen festgesetzt werden kann, aber schwerlich werden viele Zoologen sich finden, welche ihm darin beistimmen, dass die Mundwerkzeuge nicht mehr Wert für Verwandtschaftserkenntnis hätten als die Flügel! Die Widerlegung dieser Meinung ist so leicht, dass der Protest genügt; nur daran will ich erinnern, dass durchschnittlich die Konstanz der Mundteile eine *viel grössere* ist, namentlich gerade bei den niederen Ordnungen und dass in den Mundwerkzeugen eben nicht 1—2 Paar Organe vorliegen (wie bei den Flügeln), sondern ein ganzer *Komplex* heterogener Bildungen, von denen die ganze Organisation des Kopfes bedeutend abhängiger ist als die des Thorax von den Flügeln.

Auf S. 737 des Zoolog. Anzeigers ist Handlirsch nochmals auf *Hemimerus* zurückgekommen, allerdings in so oberflächlicher Weise, dass die Nichtbeachtung eingehender Untersuchungen über den Bau dieser Gattung, welche *in Kopf, Thorax und Abdomen sich gleichmässig als unzweifelhaftes Dermapteron* herausgestellt hat, nur sehr bedauert werden kann. Handlirsch schreibt ebendort, dass der von mir vorgeschlagene Name *Dermodermaptera* „für ein ganz flügelloses Tier mindestens ebenso unpassend ist wie jener Saussures.“ Das erlaube ich mir dann doch sehr zu bezweifeln, denn dass die *Hemimerus* ungeflügelt sind, ist dabei ganz gleichgültig, da sich „*Dermo*“ auf die Lebensweise an *τὸ δέρμα* bezieht und „*Dermaptera*“ der *Stammname* ist, welchen ich in den Unterordnungen beibehalten habe. „*Diploglossata*“ dagegen ist ein auf einem grossen Irrtum, nämlich der Verdoppelung der Lippentaster beruhender, *falscher* Name. Das dürfte doch ein beträchtlicher Unterschied sein! —

Auf Handlirschs Bemerkungen S. 754 und 55 betreffend den Unterschied von Gonopoden und Styli glaube ich nach dem in dieser Arbeit Ausgeführten und auch früher in Nr. 687 des Zoolog. Anzeigers Gesagten, nicht weiter eingehen zu müssen. Dasselbe gilt für die Auffassung der

*Embioidea*, welche von den *Termiten* abgetrennt wurden (und zwar sogar sehr weit!), obwohl diejenigen, welche sich näher mit dieser Gruppe beschäftigt haben, nämlich ausser mir noch Grassi, Enderlein u. A. *übereinstimmend* die nahe Verwandtschaft beider Gruppen erkannt und betont haben. Deshalb ist es noch nicht nötig die Termiten von Embiiden oder umgekehrt direkt abzuleiten. Solange Handlirsch keine neuen Differenzen zwischen diesen Gruppen nachgewiesen oder die festgestellten weitgehenden Übereinstimmungen erschüttert hat, ist wissenschaftlich keine andere Auffassung möglich als die der *Isoptera* im Sinne Enderleins (*Termiten* + *Embiiden*). Mit Börners neuem Versuch „zur Systematik der Hexapoden" im Zool. Anzeiger 1904, auf welchen ich hier nicht näher eingehen kann, stimme ich auch in manchen Punkten nicht überein, derselbe nimmt aber immerhin auf die tatsächlichen Bauverhältnisse der Hexapoden mehr Rücksicht als der besprochene von Handlirsch. —

Wenn Börner auf S. 522 schreibt, er wolle „an Stelle der Einteilung von F. Brauer eine andere setzen", so kann uns diese andere Einteilung, (welche meist nur ungenügend und z. T. gar nicht definierte Gruppen enthält, während F. Brauer seine Ordnungen in klassischer Weise begründet hat), nur in soweit interessieren, als die neuen Namen neueren, meist von andern Forschern begründeten Fortschritten Ausdruck verleihen. Wenn aber neue Gruppennamen aufgestellt werden, ohne dass entsprechende neue Untersuchungen das begründen oder überhaupt durch eine brauchbare Diagnose das gestützt wird, so können sie mindestens ebenso wenig Anspruch auf Anerkennung machen, wie schlecht, weil zu kurz beschriebene Arten oder Gattungen. —

# Erklärung der Abbildungen.

Folgende Abkürzungen gelten allgemein für die über ***Dermapteren*** handelnden Tafeln:

*co* = Coxa.
*coa* = Coxalorgane der Labiopoden.
*comi* = inneres, *come* = äusseres } Coxomerit (Coxalorgan) der Maxillopoden.
*tro* = Trochanter.
*prf* = Praefemur.
*fe* = Femur.
*ti* = Tibia.
*ta* = Tarsus.
*ez* = Endzapfen, Podotelson.
*ca 1, ca 2* = Cardines.
*sc* = Borstenkamm der inneren Maxillopoden-Coxomerite und der Labiopoden-Coxalorgane.
$\alpha$ = Exocoxit, $\beta + \zeta$ = Mesocoxit, $\delta + \varepsilon$ = Endocoxit, $\gamma$ = Basocoxit } der Maxillopodenhüften.
*tco* = Telocoxit der Labiopodenhüften.
*me* = Mentum.
*sme* = Submentum.
*oc* = Augen
*ga* = Gaumenfelder
*lbf* = Aussenzapfen, processus exterior
*lbz* = Innenzapfen, processus interior } des Labroepipharyngealgerüstes.
*lbi* = Gaumenfortsatz, processus tenuis
*lba* = Hinterzapfen, processus posterior
*pstpl* = parastomatische Plättchen.
*pstba* = parastomatische Bälkchen.
*li, li 1* = Zunge und Nebenzungen.
*list* = Zungenverdickungen.
*hyph* = Hypopharynx.
*a a* = Zungenbürsten des Hypopharynx,

*lpme* = laterale Postmentalstücke.
*iv* = interkalares Sternit.
*miv* = Sternit des Mikrothorax.
*mib* = innere Balken des Mikrothorax.
*pl* = Pleurite des Mikrothorax.
*tto* = Tentorium.
*ttz* = Tentoriumzapfen.
*A* = Oberlippe, Labrum.
*B* = Anteclypeus.
*C* = Postclypeus, eigentlicher Clypeus.
*D* = Stirn, Frons.
*E* = Scheitel.
*Hk* = Hinterkopf.
*Hkl* = Hinterkopfleisten.
*ge* = Gena, Wange.
*gel* = Wangenleiste.
*gh* = Gelenkhöcker gegen den Submentumhinterrand.
*gz* und *za* = Gelenkzapfen zur Herstellung der Verbindung des Hinterkopfes mit den inneren Balken des Mikrothorax.
*iba* = innere Balken desselben.
*lapl* = Unterplättchen (Laminula) des Hypopharynx,
*laba* = Wurzelteil desselben.
*msi* = Sinus maxillaris.
*mn* = Scheitelnaht.

*fla* = Furculae labiales.
*u G* = untere } Gelenkgrube für die
*o G* = obere } Mandibeln.
*u H* = unterer } Gelenkhöcker der
*o H* = oberer } Mandibeln.
*tem* = Muskeln des Maxillopodentelopodit.
*em* = Muskel des äusseren } Maxillen-
*im* = Muskel des inneren } coxomerit.
*s* = Sehnen.
*tr* = Tracheen.
*ttm 1* = Muskel zwischen Tentorium und Exocoxit.
*ttm 2* = Muskel zwischen Tentorium und Endocoxit.
*cam* = Muskeln zwischen Tentorium und Cardo.
*ecom* = äussere Muskeln der Labiopodenhüften.
*icom* = innere Muskeln der Labiopodenhüften.
*im* und *hym* = Muskeln zwischen Mentum und Hypopharynx.
*mim* = ventrale Longitudinalmuskeln des Mikrothorax.
*bmpr* = ventrale, longitudinale Brückenmuskeln des Prothorax.
*mil* = Muskeln zwischen Mikrothoraxpleuren und Hinterkopfleisten.
*mbmv* = vordere } Muskeln des Mikrothorax zwischen Mikrothoraxbalken und Hinterkopfleisten.
*mbmh* = hintere }
*mipl* = pleurale Mikrothoraxmuskeln.
*camhk* = Muskeln zwischen Hinterkopfleisten und Cardines.
*gam 1* = Gaumenmuskeln.
*ilm* = Muskeln zwischen Labrum und Innenzapfen
*lam* = Muskeln zwischen Frons und Hinterzapfen
*gam, slm, slam* = Muskeln zwischen Clypeus und Gaumengebiet, sowie Gaumenfortsatz
} des Labroepipharyngealgerüstes.
*ugh* = Schlundganglion.
*ogh* = Gehirn.

# Tafel 1 (Tab. I).

## Tafel 1 (Tab. I).

Abb. 1 *Allosthetus Martensi* Verhoeff. Ein Maxillopod von unten gesehen,

Abb. 2 *Forficula auricularia* L. Derselbe ebenso.

Abb. 3 *Forficula auricularia* L. Endhälfte des inneren Coxomerit, Stacheln und Stäbchen sind nicht alle ausgeführt.

Abb. 4 *Karschiella camerunensis* Verh. Ein Maxillopod von unten gesehen, der Taster teilweise fortgelassen.

Abb. 5 *Forficula auricularia* L. Ein Maxillopod nebst Muskulatur von oben gesehen. (Bei *Labidura* sind die Muskeln sehr ähnlich gebildet.) *s* Sehne des grossen Muskels des inneren Coxomerit, *s 1* Sehne am Processus der Cardo. *tr* = grosse Maxillopodentrachee.

Abb. 6 *Karschiella camerunensis* Verh. Ansicht von unten auf die Sklerite in der Kehlgegend nur der linke Labiopod ist angegeben.

Abb. 7 *Forficula auricularia* L. Jüngste, dem Ei eben entschlüpfte Larvenform. Ansicht von unten und hinten auf Kopf und Mikrothorax, *Prv* = vorderes Stück des Prosternum.

Fig. 1.

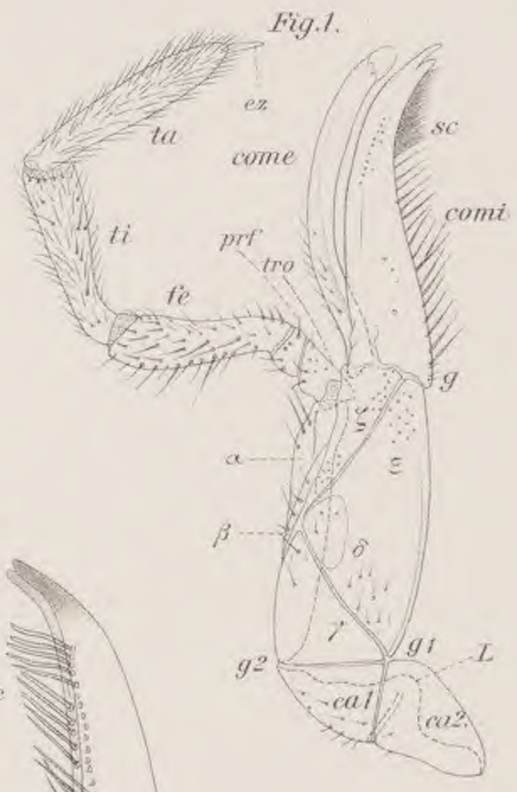



Fig. 2.

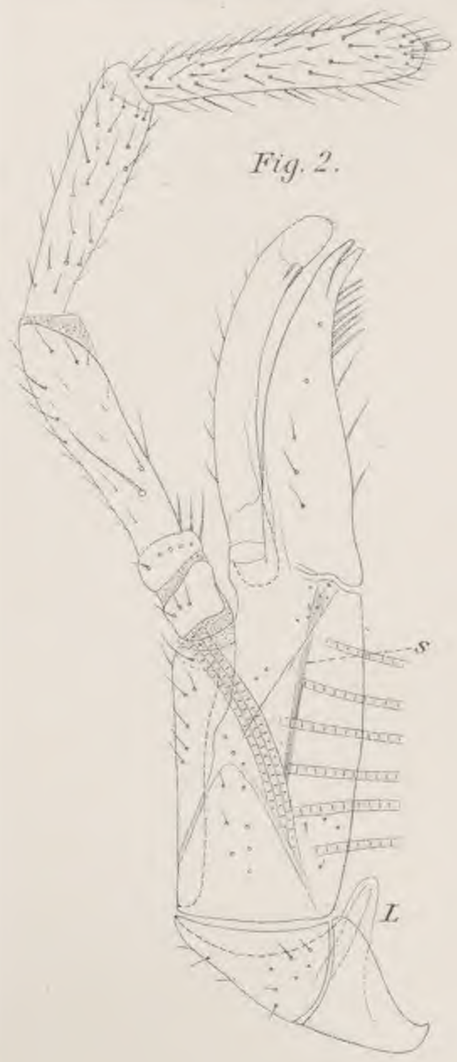



Fig. 3.

Fig. 4.

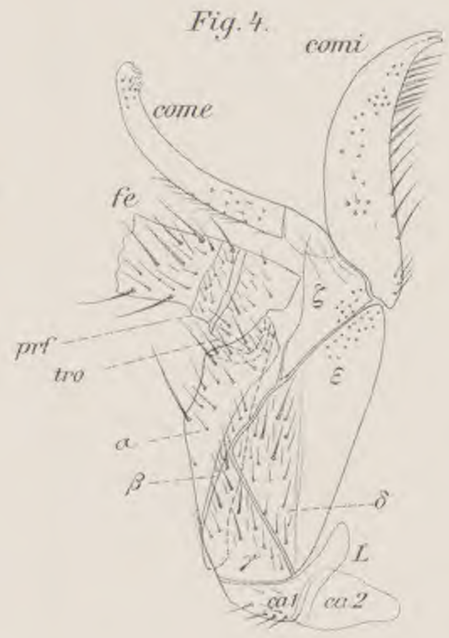



Fig. 5.

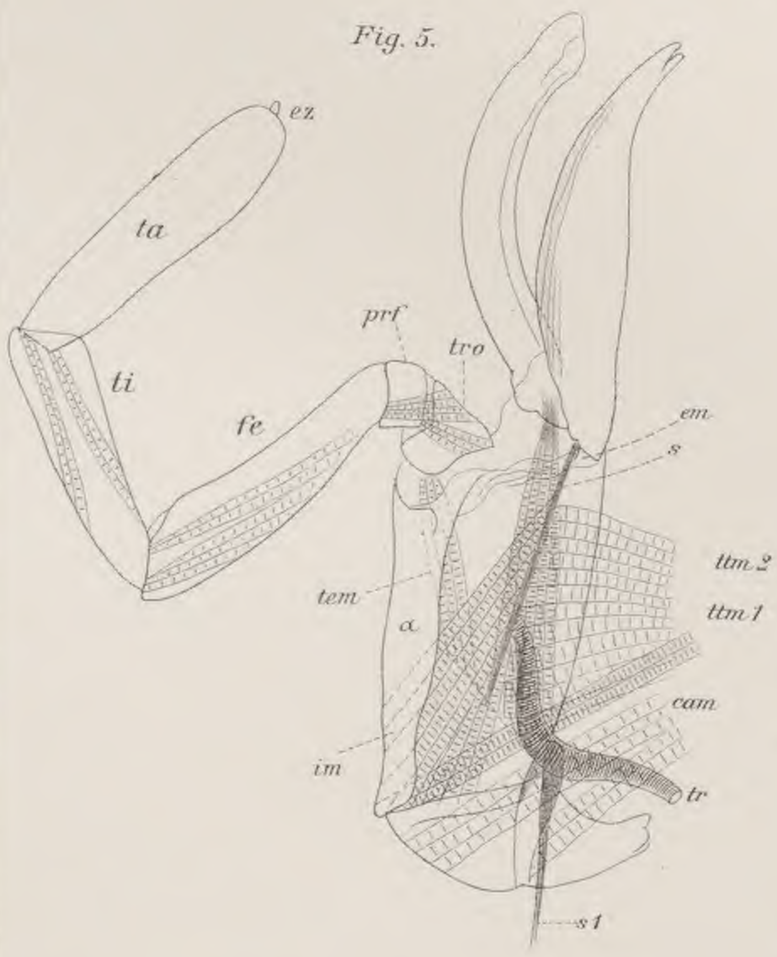



Fig. 6.

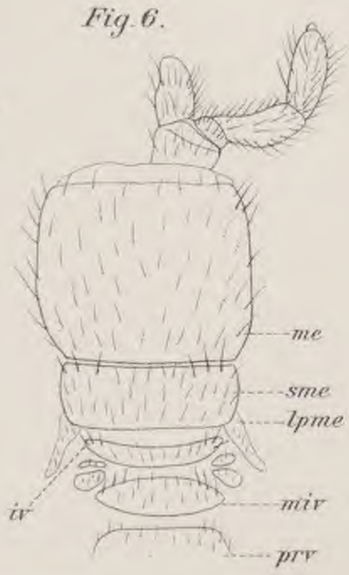
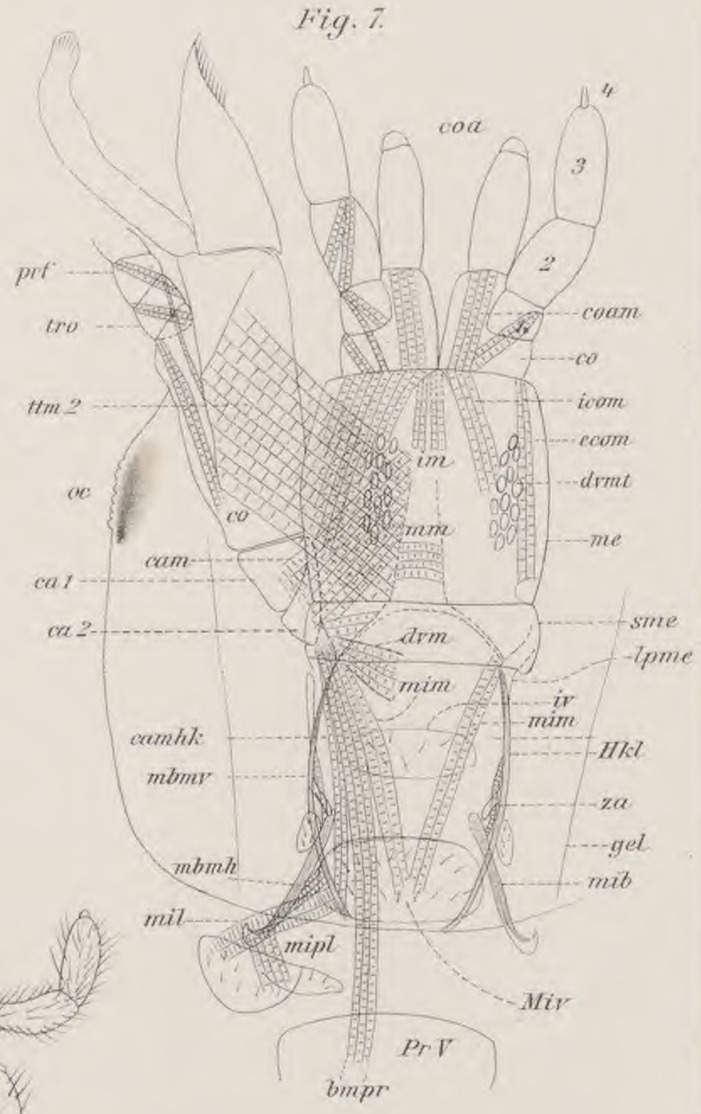



Fig. 7.




Verhoeff, del. Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig.

*Dermapteren-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 1.*

# Tafel 2 (Tab. II).

## Tafel 2 (Tab. II).

Abb. 8—11 *Allosthetus Martensi* Verh.

8 Labiopoden und Kehlplatten von oben gesehen. *H* = Haut vor dem Mentum, *spd* = Speicheldrüsengänge, *y* = vorspringende Zapfen an den Mentumhinterecken.

9 Doppelte Stiftreihe des Kammes (*sc* der Abb. 8) der Labiopodencoxalorgane (cr. 300 f. Vergröss.).

10 Hypopharynx von oben gesehen, nebst parastomatischen Balken *pstba*.

11 Oberlippe und Clypeus nebst labroepipharyngealem Gerüst von unten dargestellt. *y* Feld mit kurzen Stiftchen am Vorderrande des Labrum.

Abb. 12 und 13 *Forficula auricularia* L.

12 Hypopharynx von oben,

13 derselbe von unten gesehen, maceriert.

Abb. 14 *Labidura riparia* Pallas. Labiopoden und Hypopharynx von oben gesehen.

Fig. 8.

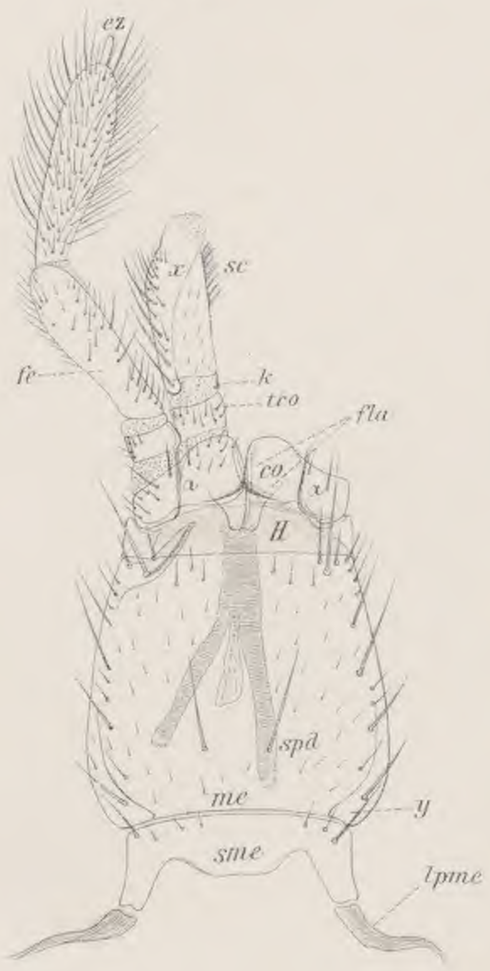



Fig. 10.

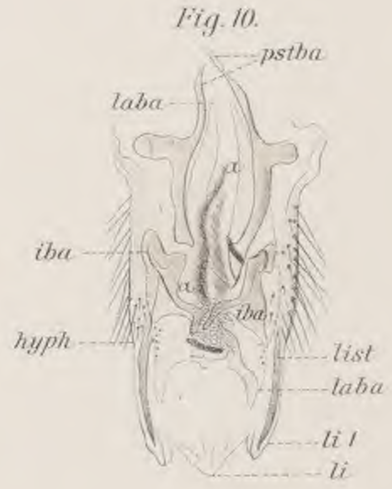



Fig. 12.

Fig. 11.

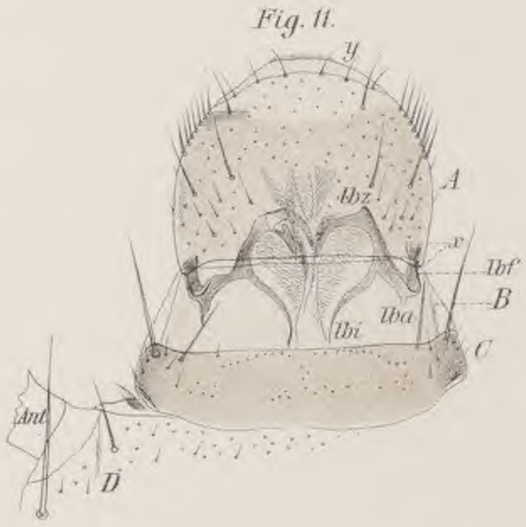
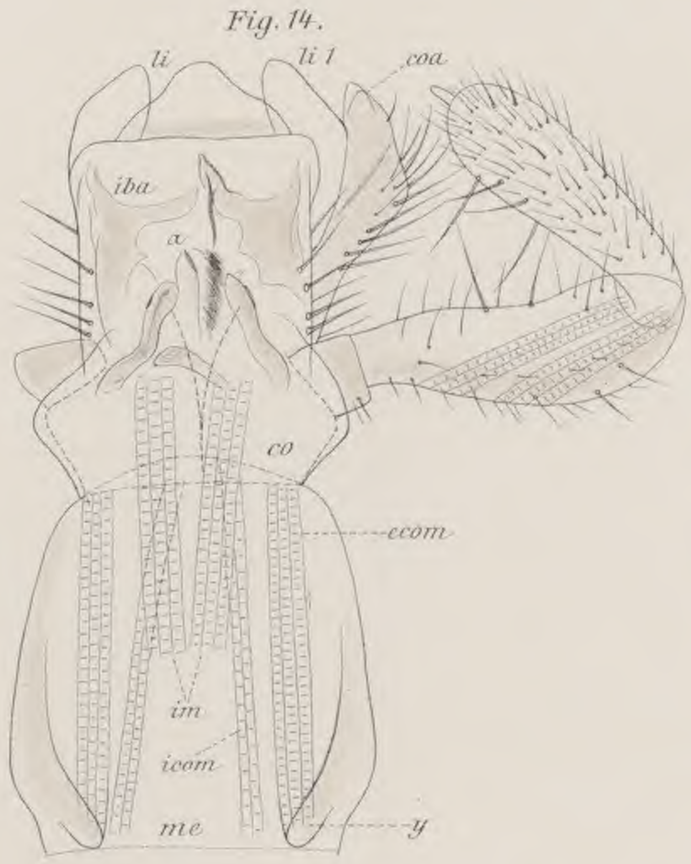



Fig. 9.

Fig. 13.

Fig. 14.




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt, Leipzig.

*Dermapteren-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 2.*

# Tafel 3 (Tab. III).

## Tafel 3 (Tab. III).

Abb. 15—20 *Forficula auricularia* L.

15 Nackengegend, d. h. Hinterkopf und Mikrothorax von unten betrachtet.

16 Epipharynxteile von unten dargestellt. *e* vorderes Läppchen, *d* Bogen unter dem rechten Innenzapfen, bei welchem eine Bürste von Härchen steht.

17 Vorderkopfteile von unten gesehen, *or* = Mundgegend, die parastomatischen Bälkchen sind zur Seite geklappt.

18 Grundteile eines Labiopod nebst Muskulatur.

19 Kopf mit vorgestreckter Oberlippe von oben gesehen.

20 Schematischer Kopfquerschnitt in der Gegend hinten an den Augen.

Fig. 15.

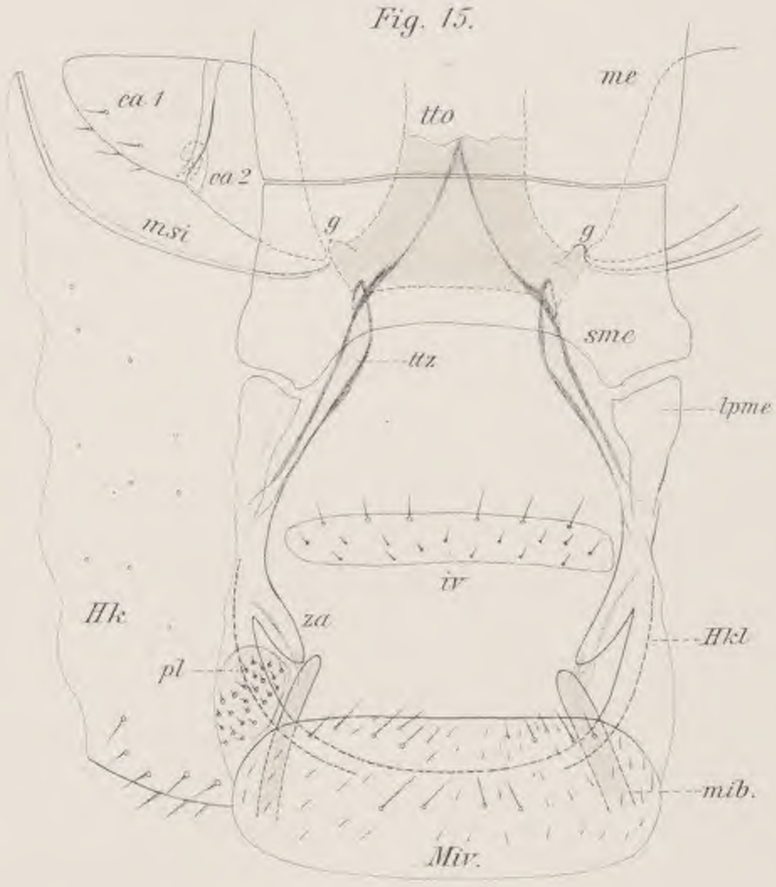



Fig. 16.

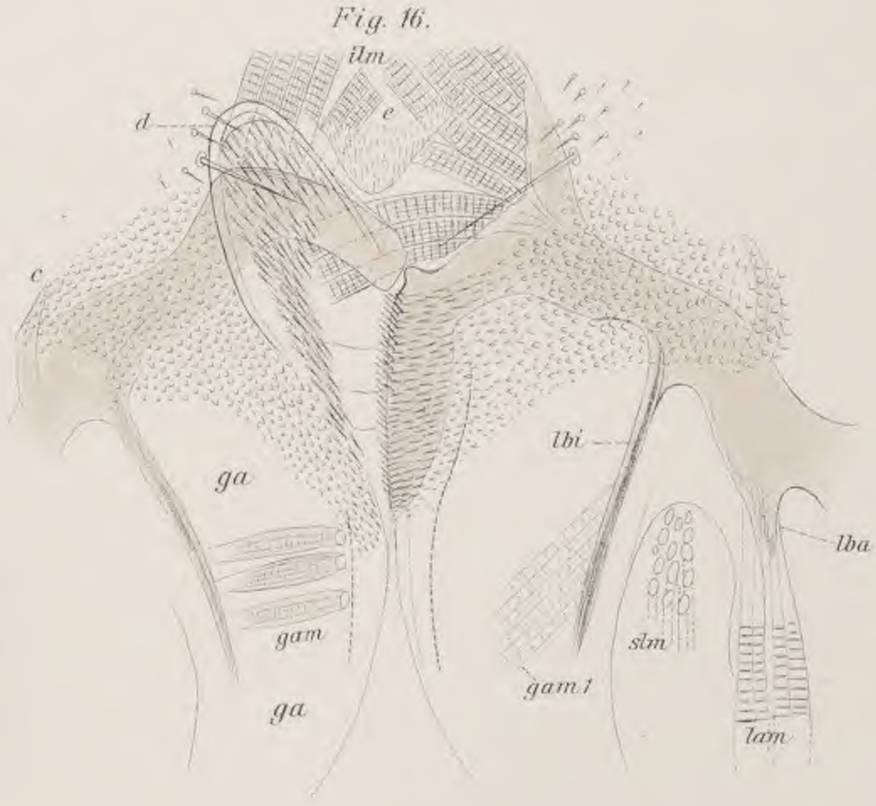



Fig. 17.

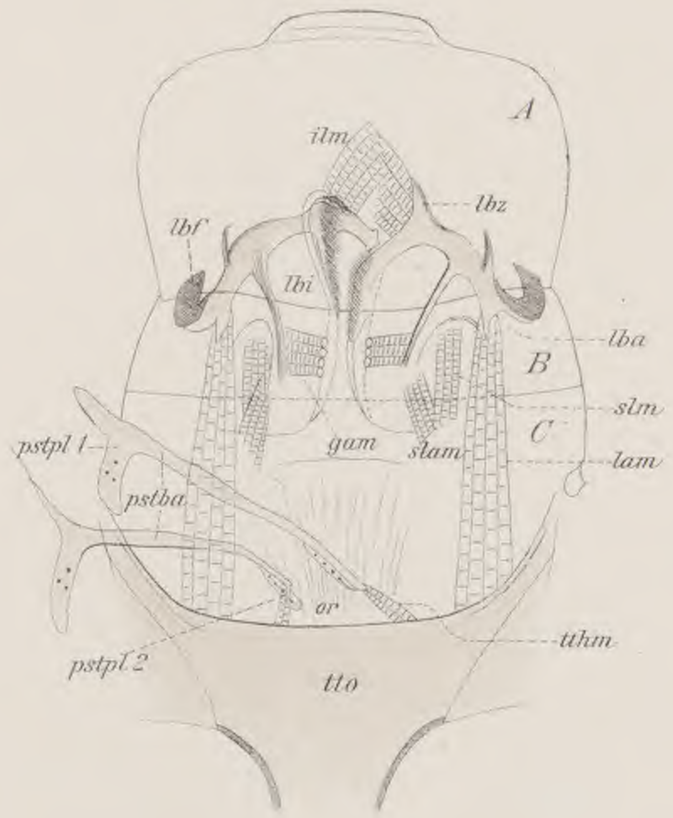



Fig. 19.

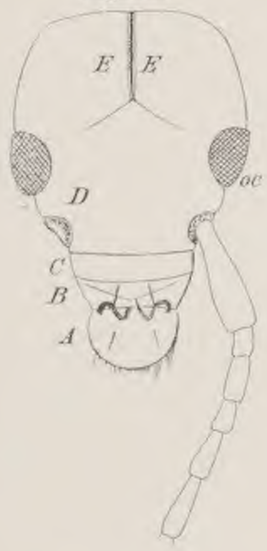



Fig. 18

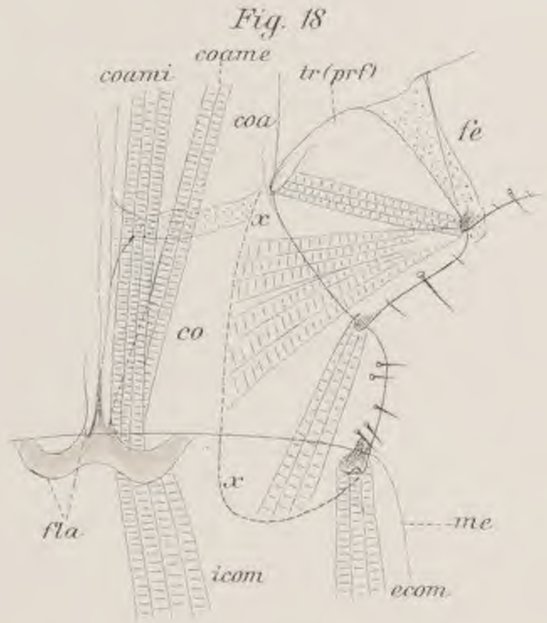
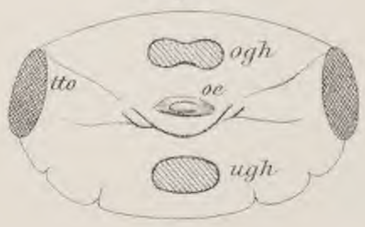



Fig. 20.




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig

*Dermapteren-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 3.*

# Tafel 4 (Tab. IV).

## Tafel 4 (Tab. IV).

Abb. 21 und 22 *Forficula auricularia* L.

21 Ansicht von unten auf Labrum und Epipharynx.

22 Die ventralen Basalteile des Hypopharynx von oben gesehen.

Abb. 23 *Allosthetus Martensi* Verh. Zwei Haargruppen aus der Bürste des Hypopharynx.

Abb. 24 und 25 *Allosthetus Martensi* Verh.

24 Kopfkapsel und Tentorium, maceriert, von unten und hinten gesehen. $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta\ \varepsilon$ = Teile des Tentorium.

25 Gelenkverbindung zwischen dem Submentumhinterrande und den unteren Zapfen der Hinterhauptleisten.

Abb. 26 *Forficula auricularia* L. Mikrothorax schräg von vorne oben nach hinten unten durchschnitten, wodurch man den Blick auf Hinterhaupt und pleuroventrale Teile des Mikrothorax erhält.

Abb. 27—29 *Apachyus Reichardi* Ka.

27 Die Mandibeln von unten gesehen, *s s 1* grosse Sehnen.

28 Die beiden Coxomerite eines Maxillopod, *a* abgesetztes Basalstück des äusseren Coxomerit.

29 Drei gebogene Stifte aus dem Borstenkamm des inneren Coxomerit.

Abb. 30 *Karschiella camerunensis* Verh. Postmentalstück, mikrothorakale Pleuren und Mikrothoraxbälkchen der linken Körperseite.

Abb. 31—33 *Hemimerus talpoides* Walk.

31 Ein Fühler von einem unentwickelten Individuum aus dem letzten Stadium vor der Geschlechtsreife.

32 Labiopodenhüften von unten gesehen. Die durchschimmernden Furculae labiales sind dunkler gehalten.

33 Labroepipharyngeales Gerüst, von unten gesehen.

Fig. 21.

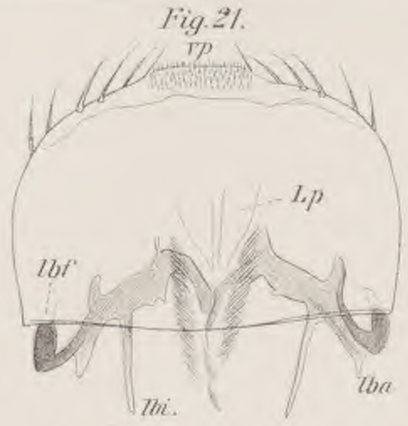



Fig. 23.

Fig. 22.

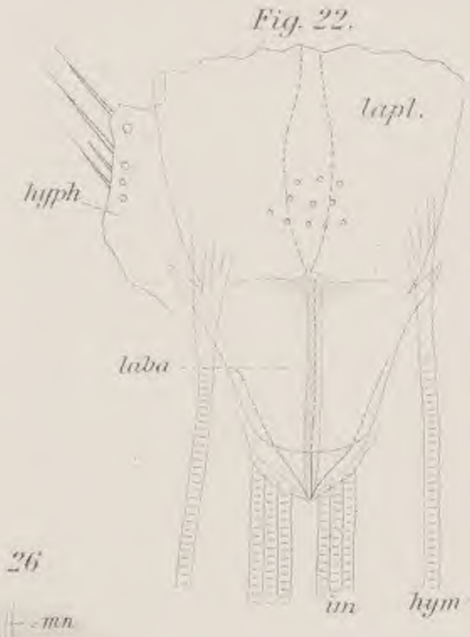



Fig. 25.

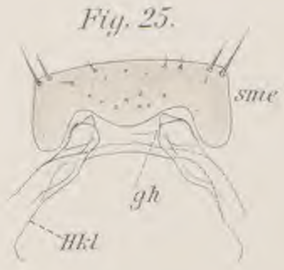



Fig. 24.

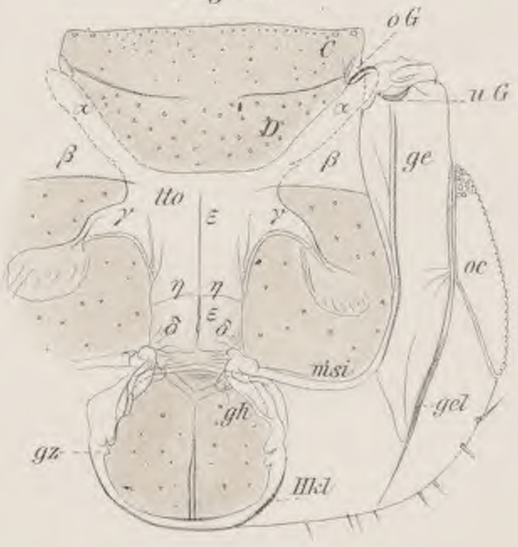



Fig. 26

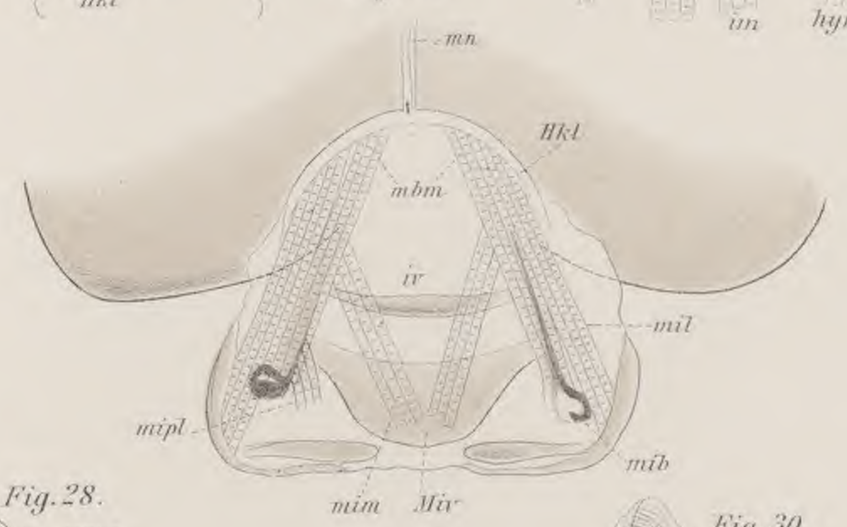



Fig. 28.

Fig. 27.

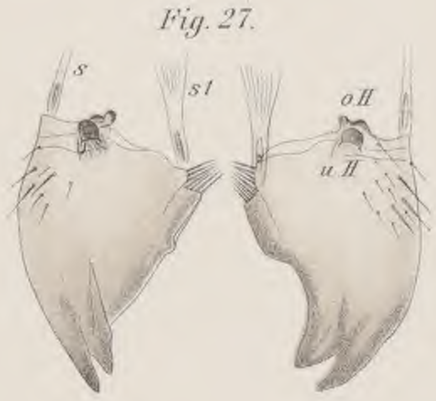



Fig. 29.

Fig. 30.

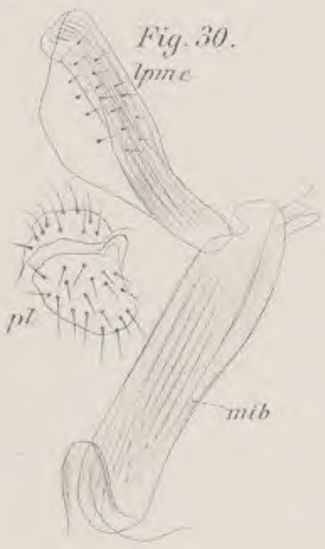



Fig. 31.

Fig. 32.

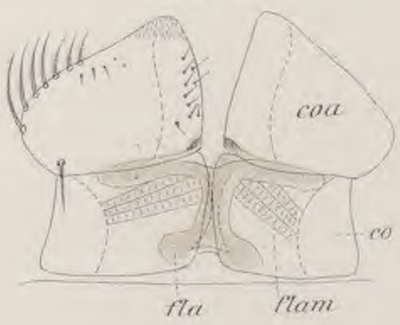
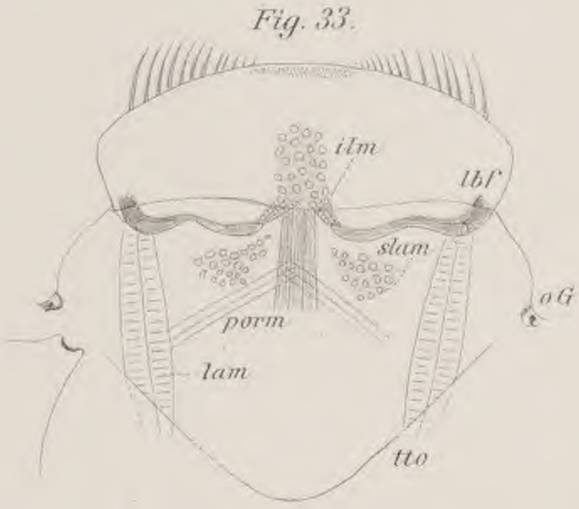



Fig. 33.




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig

*Dermapteren-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 4.*

# Tafel 5 (Tab. V).

## Tafel 5 (Tab. V).

Abb. 34—39 *Hemimerus talpoides* Walk.

34 Ein Maxillopod von oben gesehen.

35 Das Ende eines inneren Coxomerit desselben.

36 Ein Hypopharynx, maceriert, 60 f. Vergröss.

37 Hinterhaupt und Hinterhauptöffnung von unten betrachtet. *vs* = umgeknickte Partie am Hinterhauptrande oberhalb der Öffnung des Hinterkopfes. *s* die Sehnen der Nacken-Levatoren. *mdm* = Mandibelmuskel.

38 Labiopoden, Mentum und Submentum von unten gesehen. *x* = angedeutetes Stück des Hypopharynx.

39 Hypopharynx von oben her dargestellt. Die parastomatische Platte ist nur auf einer Seite gezeichnet. *x x* Andeutung einer Zungenbürste. *fla* = durchschimmernde Furculae labiales.

Abb. 40 und 41 *Allosthetus Martensi* Verh.

40 Bürste und parastomatische Balken.

41 Untere Hypopharynxplatte, bei *b b* mit dem übrigen Hypopharynx verwachsen *c c* Ansatzstellen der vom Mentum kommenden Muskeln (Vergl. Abb. 14 und 22).

Abb. 42 *Anisolabis maritima* Gené. Ansicht auf das basale Ansatzgebiet der Mandibel und Antenne. *antr* = Randwulst der Antennengelenkgrube. *baant* = Antennenbasalstück. *bamd* = Mandibelbasalstück. *L x* = Lappen des Synpleurium. *md* = Mandibelgrund.

Abb. 43 *Karschiella camerunensis* Verh. Ansicht von seitwärts und unten auf das Mandibelbasalstück. *us ve* = unterer Seitenbezirk des Vertex.

Abb. 44 und 45 *Hemimerus talpoides* Walker.

44 Ansicht von unten auf das Gebiet zwischen Antennen- und Mandibelbasis.

45 Dieselbe Kopfgegend, von oben gesehen, maceriert.

*Fig. 34.*

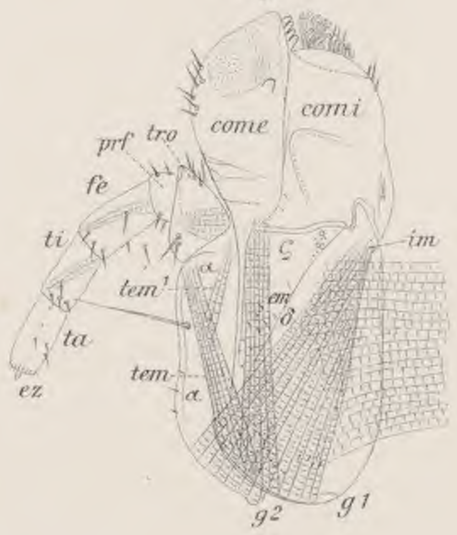



*Fig. 35.*

*Fig. 36.*

*Fig. 39.*

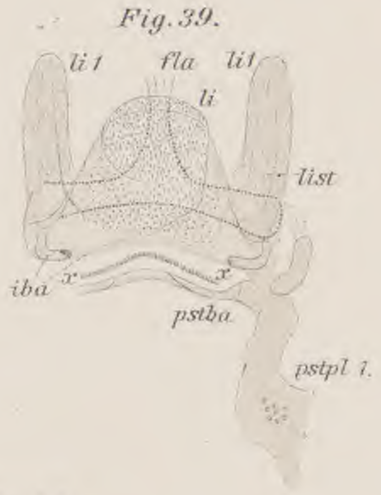



*Fig. 40.*

*Fig. 45.*

*Fig. 37.*

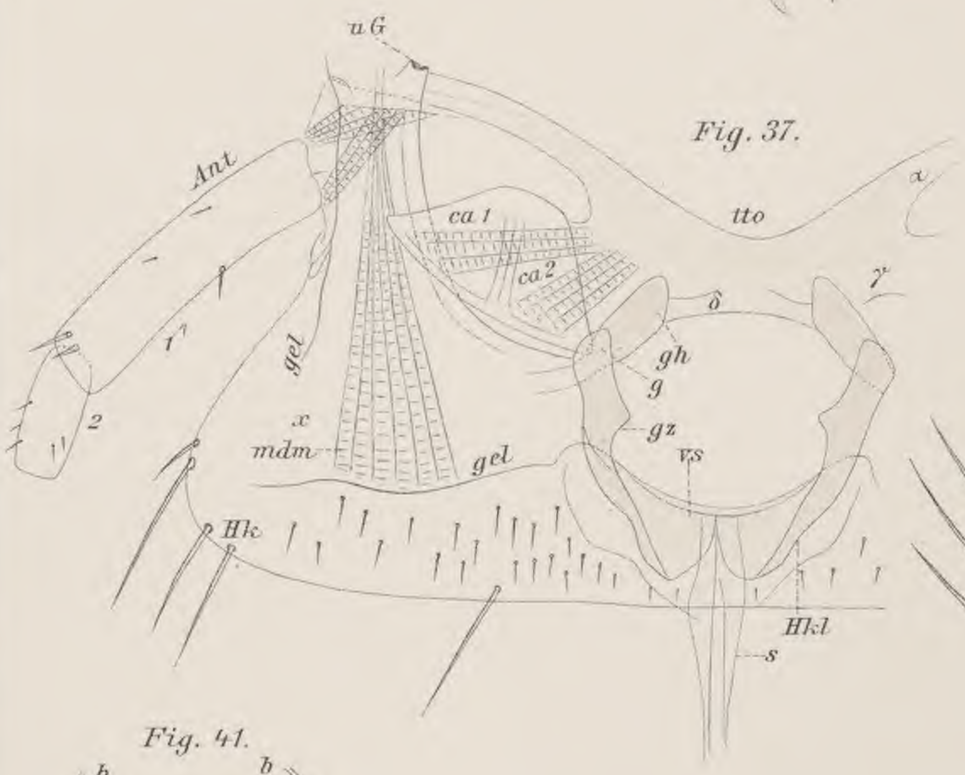



*Fig. 38.*

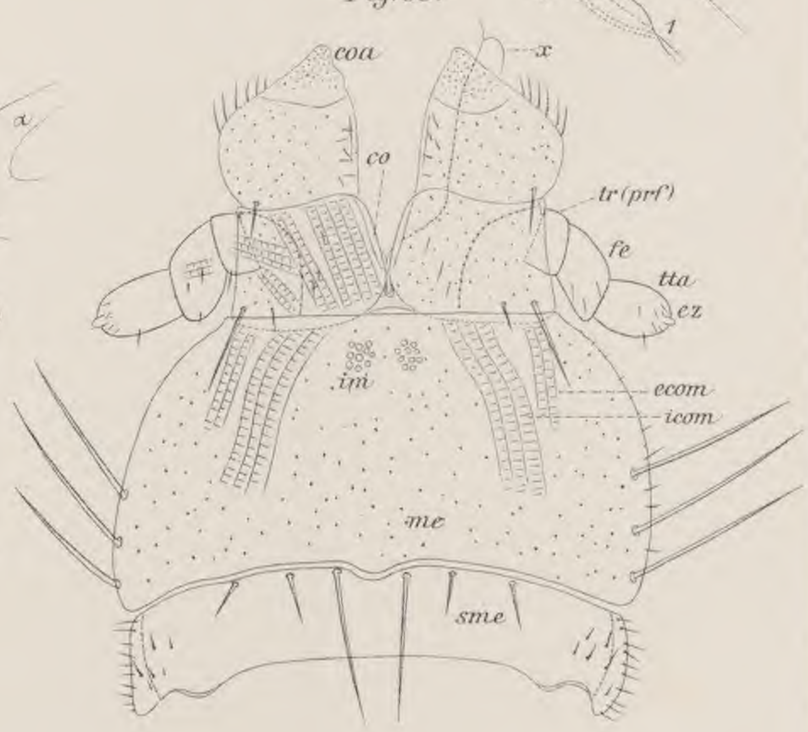



*Fig. 41.*

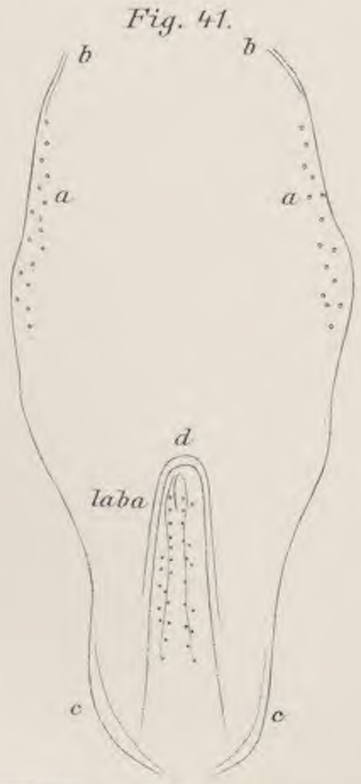



*Fig. 42.*

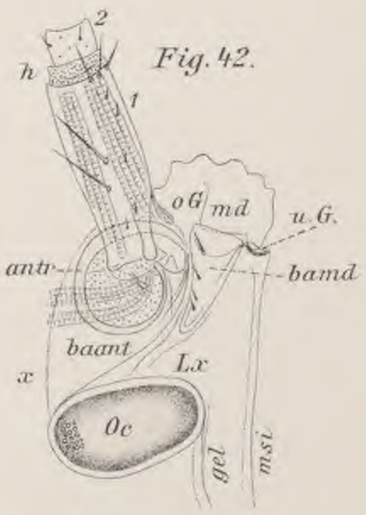



*Fig. 43.*

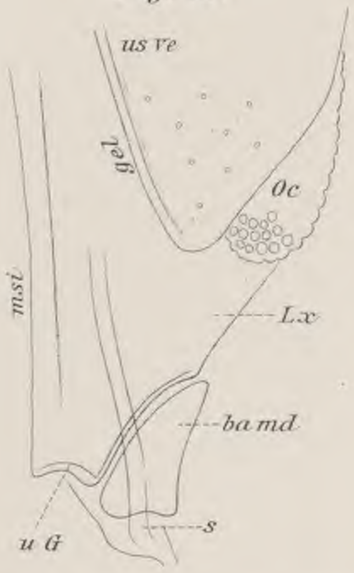
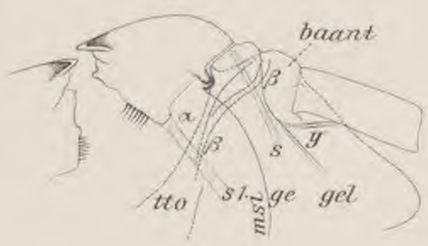



*Fig. 44.*




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig.

*Dermapteren-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 5.*

# Tafel 6 (Tab. VI).

## Tafel 6 (Tab. VI).

Abb. 46 *Forficula auricularia* L. Jüngste Larve. Die drei basalen Antennenglieder und die Antennengrube, von vorn gesehen. *x x* = schwache Einschnürung am 3. Gliede. *α β γ δ* = Muskeln im Fühlerschafte. *ε* Feder.

Abb. 47 *Hemimerus talpoides* Walk. Die beiden Fühlerendglieder eines reifen Tieres von unten gesehen, 275 f. Vergr. daneben einige Sinnesgrübchen bei cr. 500 f. Vergr.

Abb. 48 *Apachyus Reichardi* Ka. Das 2. Antennenglied, maceriert. *s, s 1* und *s 2* Sehnen, *z 1* Zapfen der vier im Fühlerschafte enthaltenen Muskeln. *a b* der Porenkranz am Endrande. Rechts bei *c* einige der Poren noch stärker vergröss. *s* liegt oben, *s 2* unten, *s 1* und *z* innen und *z 1* aussen. *z* dunklerer Teil der flagellobasalen Feder.

Abb. 49 *Pygidicrana marmoricrura* Serv. Endhälfte des Fühlerschaftes und Flagellobasale. *in, au* = innen und aussen. *x* Falte. *f* = flagellobasale Feder.

Abb. 50 und 51 *Allosthetus Martensi* Verh.

50 *mp* = Podotelson der Maxillopoden. *lp* = Podotelson der Labiopoden.

51 Ansicht von oben auf eine macerierte Verbindungsstelle am Grunde der Labiopodenhüften. *x x* links ist ein Teil vom verdickten Innenrande des oberen Stückes der Hüfte. *ckn* = Doppelknoten, welcher die beiden Hüften verbindet.

Abb. 52 *Forficula auricularia.* Junge Larve, Ansicht von oben auf die Gesichtssegmente (Hinsichtlich der Muskeln vergl. man Abb. 16 und 17). *phm, phm 1* Muskeln welche schräg nach unten und innen zum Pharynx ziehen. *lamr* = unpaarer Emporzieher der Oberlippe.

Abb. 53 und 54 *Forficula auricularia* Imago.

53 Ende des parastomatischen Balken *a*, mit dem zum Tentorium gehenden Hypopharynxmuskel *tthm* und dem stomatischen Plättchen *pstpl 2* (*c* ist eines der Schmeckgrübchen desselben, noch stärker vergröss.).

54 Gelenkverbindung zwischen Hypopharynx und parastomatischem Balken, von aussen gesehen.

Für die Abbildungen 55—80 von ***Machilis*** gelten ausser den meisten obigen Abkürzungen noch folgende:

*tpl* = Tentoriumplatten.
*gr* = Mandibelgelenkgrube.
*geh* = Hinterwangen (genae posteriores).
*sol* = Subocularlappen.
*lph* = Antennenlophos.
*lirh* = Zungenstäbe.
*sst* = Seitenstücke des Maxillopodensegmentes.
*att* = antennale Tentorien.
*os* = Mundöffnung.
*ocl 1* = vorderer unpaarer.
*ocl 2* = hintere paarige Ocellen.
*c* = innere wulstige Ränder des Tentorium.
*f* = fadenartiger vorderer Fortsatz desselben.
*oe* = Oesophagus.
*lbf, lba* = Gerüst des Labrumsegmentes.
*α, β, δ* = Gerüst des Clypeopharyngealsegmentes.
*γ* = Läppchenpaar unter dem Clypeopharyngealgerüste.
*sl* = Seitenläppchen an der Mundöffnung.

Fig. 47.

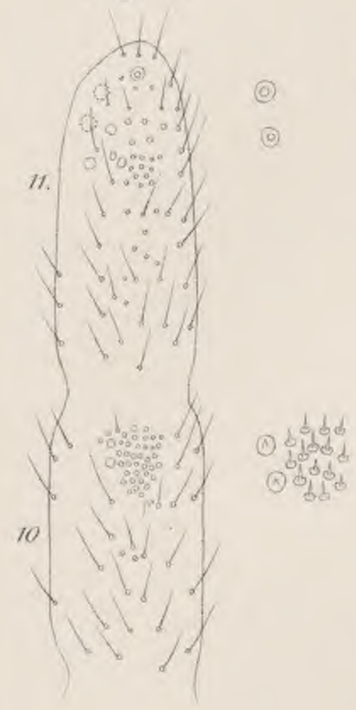



Fig. 46

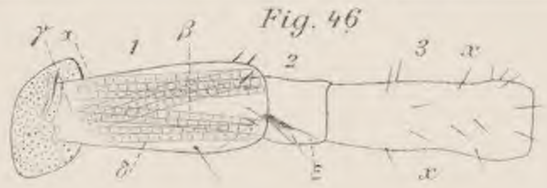
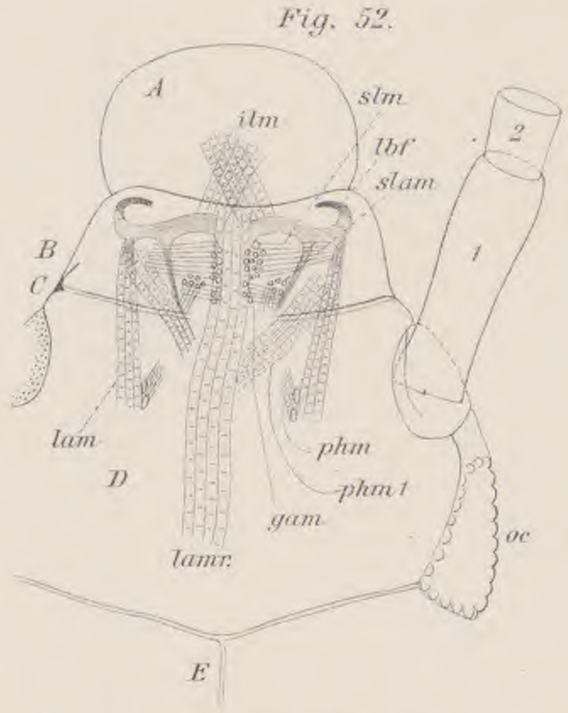



Fig. 49.

Fig. 52.



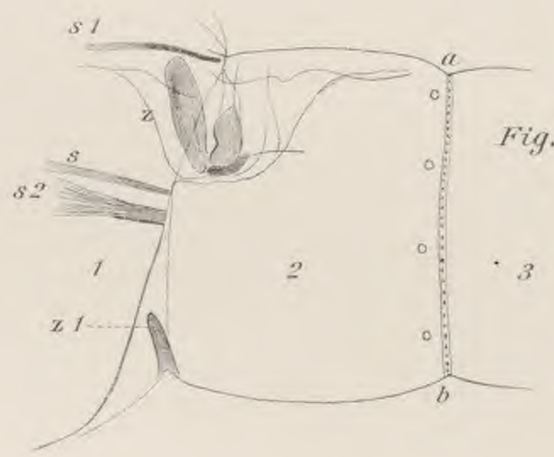




Fig. 48.

Fig. 50.

Fig. 55.

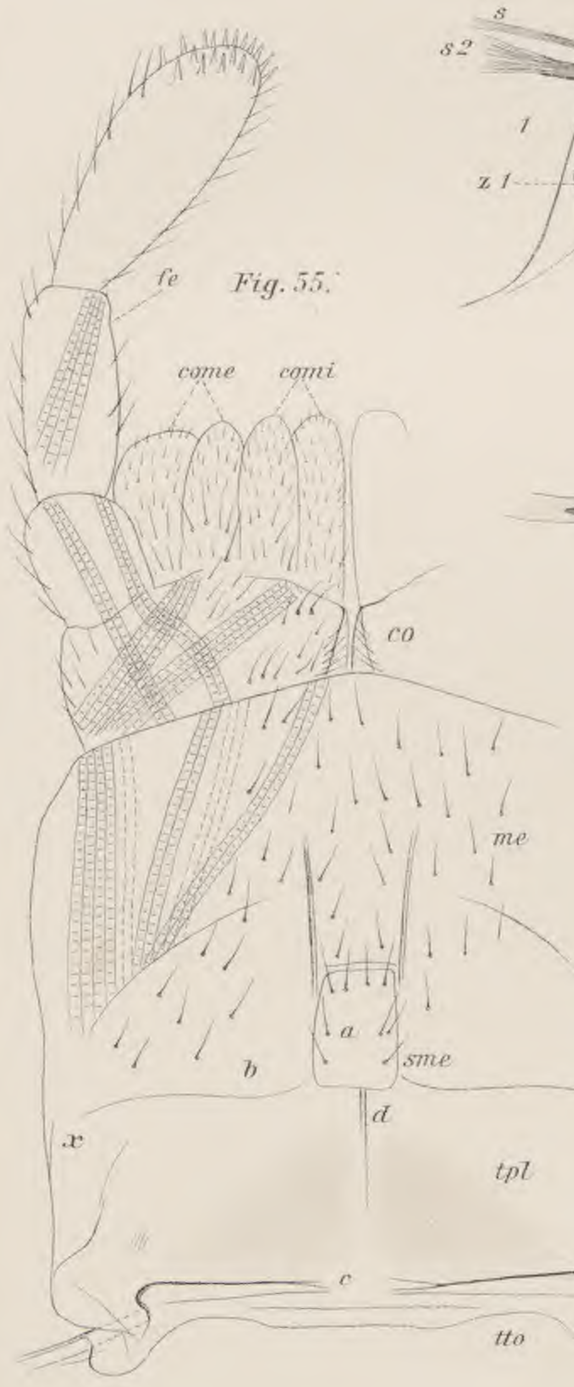



Fig. 53.

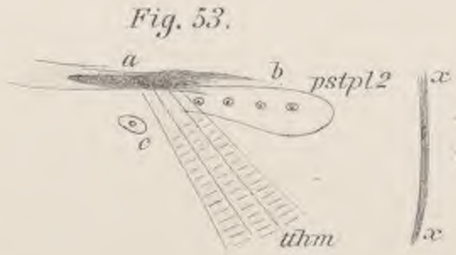



Fig. 51.

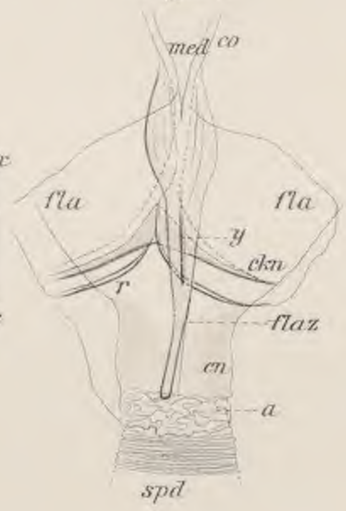



Fig. 54.

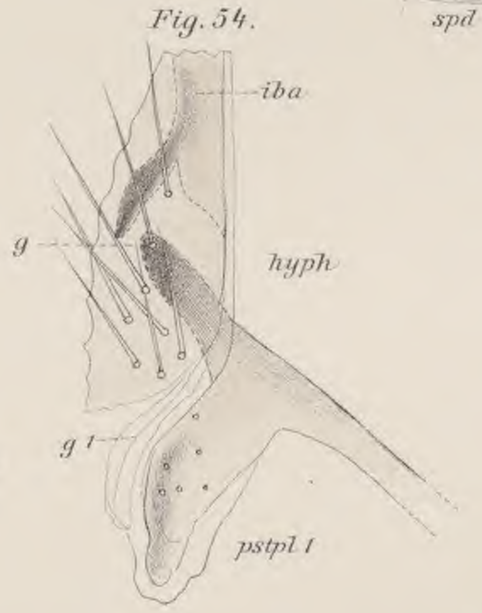



Fig. 56.

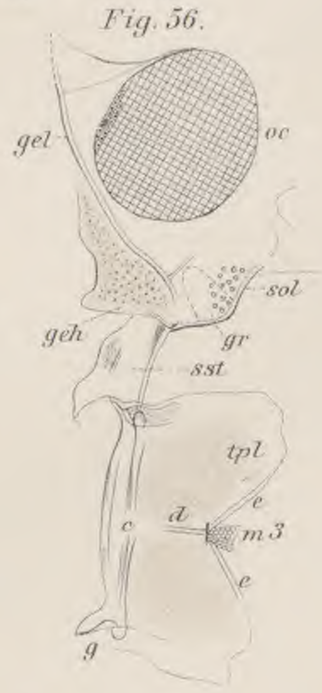
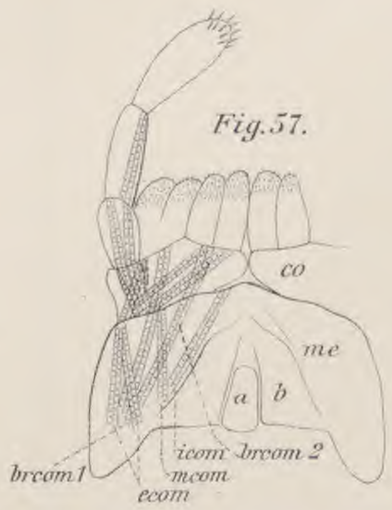



Fig. 57.




Verhoeff, del

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig

*Dermapteren- und Machiliden-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 6.*

*qm, epm, epm 1, epm 2* = Muskeln des Clypeopharyngealgerüstes.
*atm, atm 1—3* = basale Antennenmuskeln.
*fclm* = frontoclypeale Muskeln.
*brcom 1* und *2* = Brückenmuskeln zu den Coxalorganen der Labiopoden.
*cozm* = Muskeln zwischen Coxalzapfen und coxalem Innenrand.

*ttm* bis *ttm 5* = Muskeln zwischen maxillarem Tentorium und Maxillenhüfte.
*sstm* = Muskeln zwischen Tentorium und Seitenstücken des Maxillopodensegmentes.
*ant 1* = 1. Antennenglied.
*prtr* = Praetrochanter.

Abb. 55 und 56 *Machilis tirolensis mihi.* Erwachsene aus Südtirol, Bozen.
55 Ein Labiopod und Kehlteile nebst hinterem Stück des Tentorium *c, d, g* von unten gesehen.
56 Eine Seite der Hinterhälfte der Kopfkapsel, daran anschliessend Tentorium und ein Seitenstück des Maxillopodensegmentes, nach unten herausgebogen.
Abb. 57 und 58 *Machilis polypoda* Linné. Erwachsen aus Rheinpreussen, Siebengebirge.
57 Labiopoden und Kehlteile, von oben gesehen.

---

# Tafel 7 (Tab. VII).

## Tafel 7 (Tab. VII).

58 Tentorium und seine Muskulatur. *cam 1* und *2* = Cardomuskeln. *g* = Gelenk zwischen Tentorium und Cardo. *f* = medianer vorderer Faden des Tentorium.

Abb. 59—61 *Machilis polypoda* L. Halbwüchsige Junge aus dem Siebengebirge.

59 Tentorium und Coxalteile eines Maxillopoden, nebst den verbindenden Muskeln, von oben gesehen.

60 Basalteile eines Labiopod, von unten ges. *k* = Höcker am Grunde des Einschnittes zwischen den beiden Teilen des inneren Coxomerit, links nebenan eine Gruppe von Sinnesborsten und Zäpfchen, noch stärker vergr. (cr. 350 f.).

61 Zunge und ein Labiopod in ihrer natürlichen Lage zueinander, von oben ges. *ze* sind einige der zahlreichen Hypodermiszellen.

Abb. 62—65 *Machilis tirolensis mihi.* Erwachsen, aus Bozen.

62 Hinterhälfte einer Seite der Kopfkapsel von oben ges. *x* = durchschimmernde Muskelleiste.

63 Kopf vou vorne und oben gesehen, der Verlauf der Einzelfacetten in den Augen ist nur rechts angedeutet, die durchschimmernden Muskeln des Clypeusbereich sind nur links angegeben.

64 Labrum nebst Gerüst von unten dargestellt.

65 Labrum und Clypeus von unten ges. Daran nach hinten sich anschliessend ein antennales Tentorium, welches ganz nach aussen herübergeklappt wurde. Die Linie *y* entspricht der gleichbezeichneten in Abb. 63.

Abb. 66 und 67 *M. polypoda* L. Halberwachsen, Siebengebirge.

66 Ein Kopf von vorne und oben gesehen. *yi* = Querfurche im Frontalbezirk. *D* = Frons. *E* = Vertex. *x* = abgekürzte Querfurche.

67 Protocephalon von unten ges., Muskeln des 1. Antennengliedes und eines antennalen Tentorium.

Abb. 68 *M. polypoda* L. Erwachsen, Endlappen einer Nebenzunge.

Abb. 69 und 70 *M. tirolensis mihi* von Bozen, erwachsen.

69 Antennenbasis, Vorderocellus, Vorderdarm *oe* und antennale Tentorien, von oben und hinten gesehen.

Fig. 58.

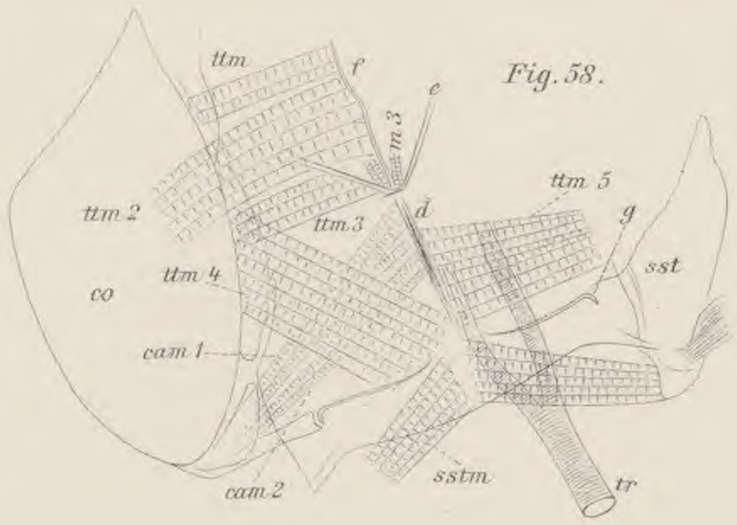



Fig. 59.

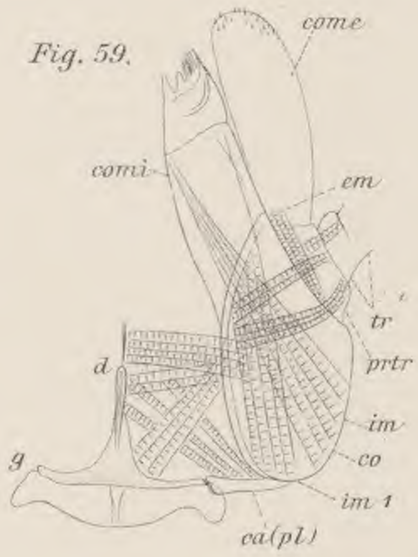



Fig. 61.

Fig. 63.

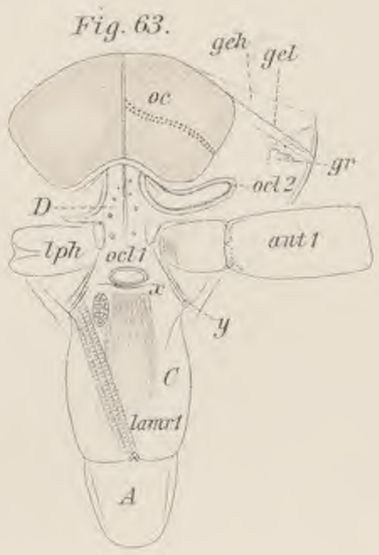



Fig 65.

Fig. 60.

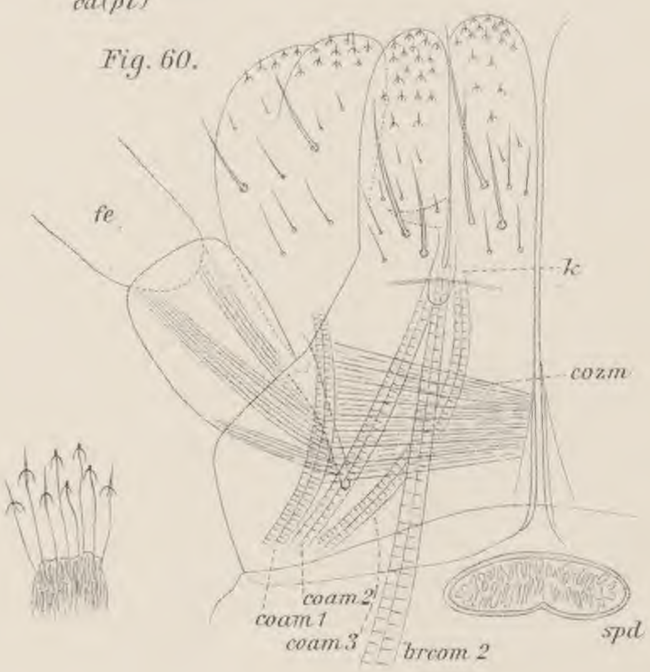



Fig. 64.

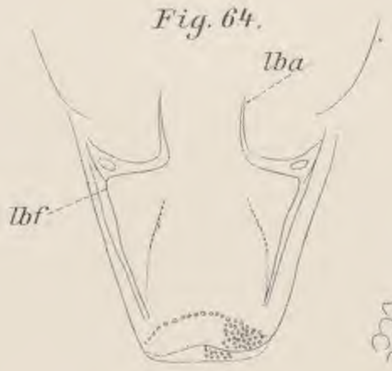



Fig. 62.

Fig. 68.

Fig. 66.

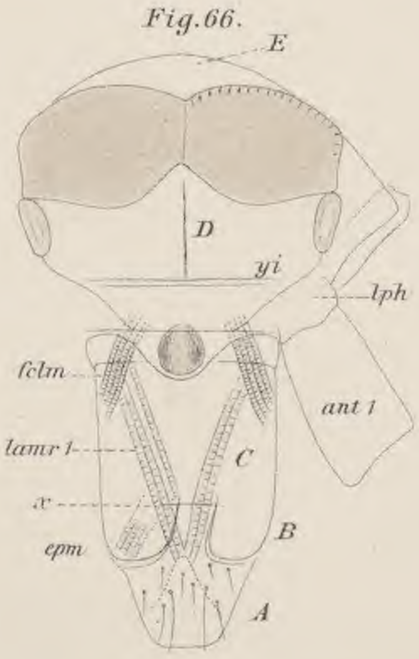



Fig. 67.

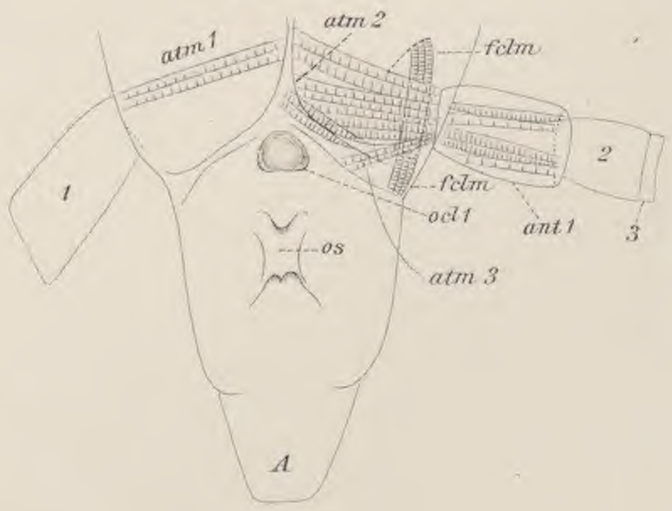
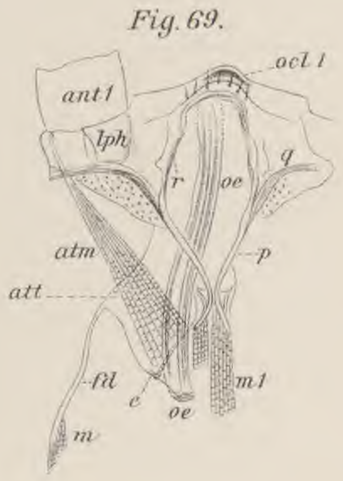



Fig. 69.




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig

*Machilis-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 7.*

# Tafel 8 (Tab. VIII).

## Tafel 8 (Tab. VIII).

70 Basaler, kugeliger Gelenkkopf einer Mandibel und die zur Aufnahme desselben bestimmte Gelenkgrube an der Kopfkapsel (Vorderwange).

Abb. 71 *M. polypoda* L. Halbwüchsiges Junges aus dem Siebengebirge. Labrum und Clypeopharyngeal-Segment von unten gesehen, nebst Gerüsten und Muskulatur.

Abb. 72—75 *M. tirolensis m.* Erwachsen, aus Bozen.

72 *Schlundbürste,* von aussen (unten) gesehen. *c* = mediane Dörnchenlängsgruppe. *o* = Mundgegend. *x x* = hintere Verbindungsstellen mit der Zunge.

73 Schlundbürste, von innen (oben) gesehen.

74 Eine Nebenzunge.

75 Gaumenfelder, Clypeopharyngealgerüst und Gegend zwischen diesen Teilen und der Mundöffnung (*os*). *gst* = *Gaumenstäbe* zum Steifhalten der Haut hinter den Gaumenfeldern.

Abb. 76—80 *M. polypoda* L. Halbwüchsige Junge, Siebengebirge.

76 Mandibeln nebst Muskulatur. *qs* = queres Sehnenband.

77 Maxillentelopodit von aussen. *pr* = Trochanterfortsatz.

78 Endgebiet eines äusseren Coxomerit der Maxillopoden.

79 Endstück eines inneren Coxomerit der Maxillopoden, von unten.

80 Spitzen und Stäbchen desselben Endstückes, von oben gesehen.

Abb. 81 *M. tirolensis m.* Erwachsen, aus Bozen. Äusseres Stück der Hüfte der Labiopoden und Coxalzapfen *coz* von oben gesehen. *c* = Balken welcher Coxalzapfen und Hüfte verbindet. *b* = Anschlussstelle an das äussere Coxomerit.

Fig. 72.

Fig. 73.

Fig. 74.

Fig. 79.

Fig. 70.

Fig. 75

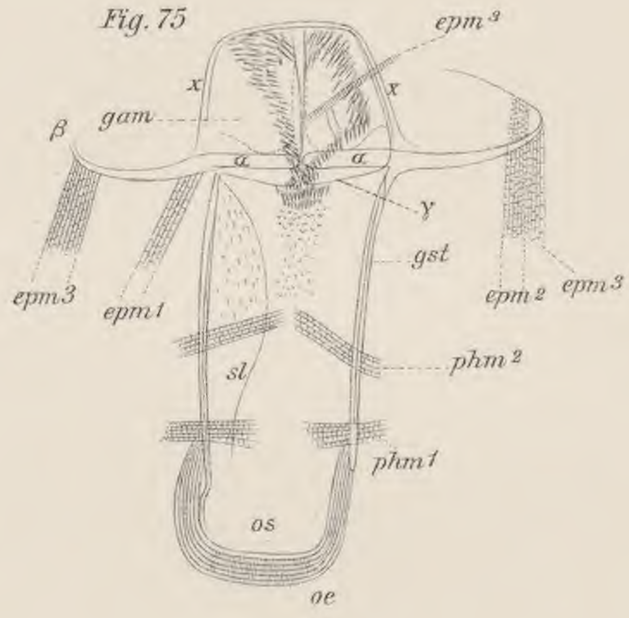



Fig. 76.

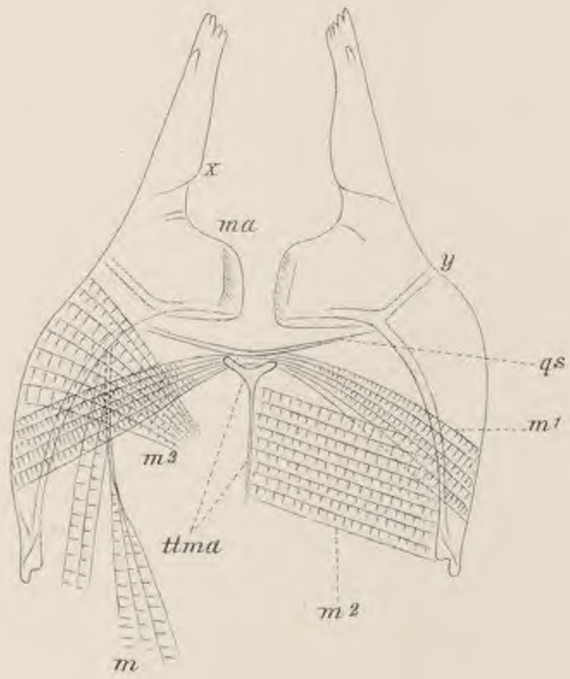



Fig 80.

Fig. 78.

Fig. 77.

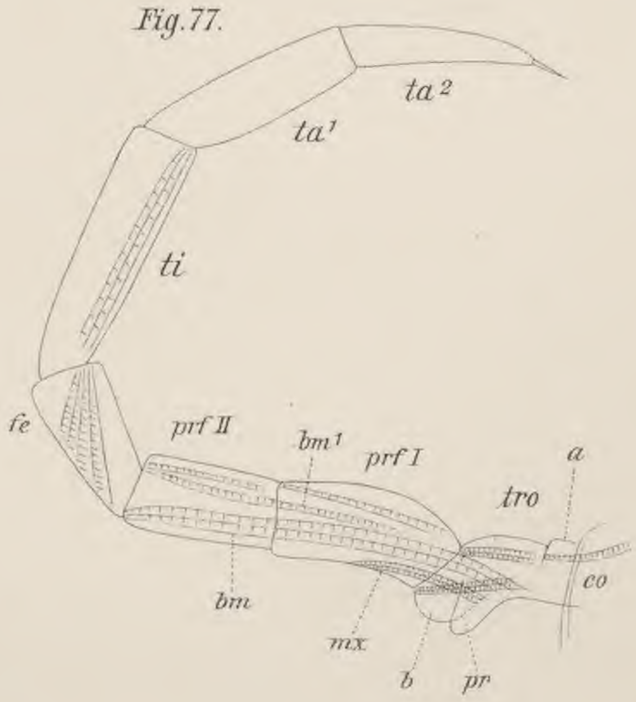
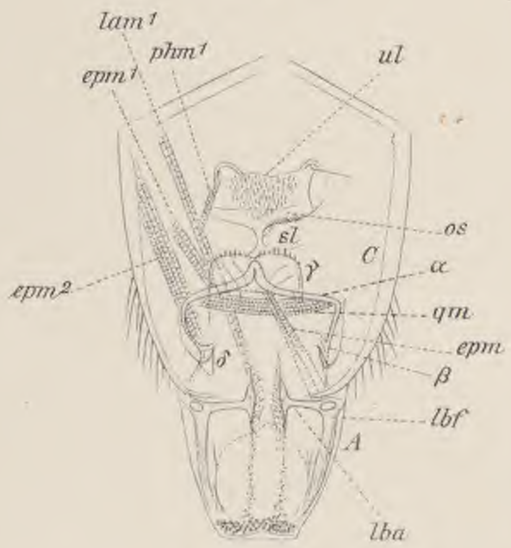



Fig. 81.

Fig. 71.




Verhoeff, del.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt Leipzig.

*Machilis-Kopf.*

*K. Verhoeff: Morphologie des Kopfes niederer Insekten. Taf. 8.*

NOVA ACTA.

**Abh. der Kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher**

Band LXXXIV. Nr. 2.

# Variationen von Jussieua repens

mit besonderer Berücksichtigung

## des bei der Wasserform vorkommenden Aerenchyms.

Von

**Gerschon Seliber.**

Mit 4 Tafeln Nr. IX—XII und 24 Textfiguren.

Eingegangen bei der Akademie am 7. Oktober 1904.

**HALLE.**

1905.

Druck von Ehrhardt Karras, Halle a. S.

Für die Akademie in Commission bei Wilh. Engelmann in Leipzig.

# Literatur-Verzeichnis.


1904. Boselli. Contributo allo studio dell' influenza dell' ambiente acqueo sulla forma e sulla strutture delle piante. Annali di Botanica vol. I fasc. 4.

1900. Brenner. Untersuchungen an einigen Fettpflanzen. Dissertat. Basel auch Flora Bd. 87.

1886. Costantin. Sur les Feuilles aquatiques. Ann. d. sc. nat. Ser. 7. T. III.

1898. — Les végetaux et les milieux cosmiques.

1903. Eberhardt. Influence de l'air sec et de l'air humide sur la structure des plantes. Ann. d. sc. nat. ser. 8 t. XVIII.

1887. Dufour. Influence de la lumiére sur les feuilles. Ann. d. sc. nat. ser. 7 t. V.

1893. Goebel. Pflanzenbiologische Schilderungen II.

1898. — Ueber Studium und Auffassung der Anpassungserscheinungen.

1904. Haberlandt. Physiologische Pflanzenanatomie. 3. Aufl.

1895. Henslow. The origin of plant structures by self adaptation to the environment.

1904. Horn. Experimentelle Entwickelungsänderungen bei Achlya polyandra de Bary. Dissert. Halle auch Annales mycologici Bd. II.

1887. Jost. Ein Beitrag zur Kenntnis der Atmungsorgane der Pflanzen. Bot. Ztg. 1887.

1903. Klebs. Willkürliche Entwickelungsänderungen bei Pflanzen.

1886. Kohl. Die Transpiration der Pflanzen und ihre Einwirkung auf die Ausbildung pflanzlicher Gewebe.

1889. Kraus, G. Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffes.

1903. Küster. Pathologische Pflanzenanatomie.

1904. — Phytopathologie und pathologische Anatomie. Jahrbuch für Pflanzenkrankheiten Bd. V.

1893. Lothélier. Recherches sur les plantes à piquants Revue Gén. de Bot. V.

1866. Martins. Sur les racines aériféres (ou vessies natatoires) des espéces aquatiques du genre Jussieua. Mem. Acad. d. sc. de Montpellier.

1902. Massart. L'accomodation individuelle chez polygonum amphibium. Bullet. du jardin Bot. à Bruxelles Vol. 1.

1904. Pfeffer. Pflanzenphysiologie Bd. II. 2. Aufl.

1870. Rauwenhoff. Des plantes croissant dans l'obscurité. Ann. d. sc. nat. ser. 6 t. V.

1888. Scott and Wager. On the floating Roots of Sesbania aculeata. Annals of Botany Vol. 1.

1889. Schenck. Ueber das Aerenchym, ein dem Kork homologes Gewebe. Pringsh. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. XX.

1879. Stapf. Beiträge zur Kenntn. geänd. Vegetationsbeding. auf die Formbild. der Pflanzenorg. Verhandl. der Zoolog. Bot. Ges. zu Wien Bd. XXVIII.

1880. Tschirsch. Ueber einige Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilatlonsorgane zu Klima und Standort mit specieller Berücksichtigung des Spaltöffnungsapparats Linnaea. Bd. XLIII Neue Folge Bd. IX.

1883. Tschaplowitz. Giebt es ein Transspirationsoptimum? Bot. Ztg. 1883.

1898. Tubeuf.[1]) Ueber Lenticellenwucherungen (Aerenchym) an Holzgewächsen. Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschr. 1898.

1897. Tittmann. Beobachtungen über Bildung und Regeneration d. Periderms, d. Epidermis, des Wachsüberzuges u. d. Cuticula einiger Gewächse. Pringsh. Jahrb. f. Wiss. Bot. 1897 Bd. XXX.

1884. Volkens. Zur Kenntniss der Beziehungen zwischen Standort und anatomischen Bau. Jahrb. des Königl. Bot. Gart. Berlin Bd. III.

1900. Westermayer. Zur Kenntniss der Pneumatophoren.

1865. Weiss. Untersuchungen über die Grössen- und Zahlenverhältnisse der Spaltöffnungen. Pringsh. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. IV 1865—1866.

1898. Wieler. Die Funktion der Pneumathoden und des Aerenchyms. Pringsh. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. XXXII.

1898. v. Wisselingh. Mikrochemische Untersuchungen über die Zellwände der Fungi. Jahrb. f. w. Bot. XXXI.

1898. Wollny. Untersuchungen über den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum der Pflanzen. Dissert. Halle auch Forsch. auf d. Geb. der Agrikulturphysik Bd. XX.

[1]) Im Text nicht erwähnt.

Die Frage über die Einwirkung der mit Klima und Standort zusammenhängenden äusseren Bedingungen auf die Struktur der Pflanzen hat schon viele Botaniker interessiert, und es existiert darüber bereits eine ganz umfangreiche Literatur. Zuerst durch vergleichend-anatomische und pflanzengeographische Studien angeregt, wurde die Frage auch später experimentell in Angriff genommen.

Die experimentellen Untersuchungen haben zum Ziel, aus dem Komplex der Bedingungen, die Klima und Standort schaffen, diejenigen herauszufinden, auf welche die eine oder die andere Modifikation der Pflanzenform oder Struktur ursächlich zurückzuführen ist. Als Hauptfaktoren des Klimas oder Standorts können Wärme, Lichtintensität, Luft und Bodenfeuchtigkeit, chemische und physikalische Bodenbeschaffenheit angesehen werden. Aufgabe der experimentellen Forschung ist es, die Wirkung jedes einzelnen Faktors bei Eliminierung aller anderen zu ermitteln, sowie die Wirkung verschiedener Kombinationen dieser Faktoren herauszufinden.

Einer idealen Lösung dieser Aufgabe stehen freilich unüberwindliche technische Schwierigkeiten im Wege. In vielen Fällen wird man sich begnügen müssen, die Wirkung gewisser Faktorengruppen annäherungsweise zu erkennen.

Die nachfolgende Arbeit soll zu den oben gestellten Fragen einige neue Beiträge bringen. Wir wollen versuchen einige Lücken in der vorliegenden Literatur zu füllen und durch konsequente Durchführung der Experimente die Wirkung der einzelnen Faktoren möglichst zu präzisieren. Als Versuchspflanze benutzen wir Jussieua repens, deren Abhängigkeit von Luft- und Bodenfeuchtigkeit und Lichtgenuss wir feststellen wollen. —

Von einer Wiedergabe der Literatur darf ich hier absehen, da bereits von Kohl, Henslow, Costantin, Schimper und Küster[1]) ausführliche Verzeichnisse geliefert wurden. —

Wird eine mehr oder minder plastische Pflanze in verschiedenen Medien kultiviert, so entstehen verschiedene Formen, sogenannte „individuelle Anpassungsformen“ (Massarts „accomodation individuelle“). Da es nicht berechtigt sein dürfte, den Medienwirkungen von vornherein irgend welche Wirkung in der Ausbildung der sogenannten konstanten Merkmale abzusprechen, wollen wir lieber von Variationsformen der Pflanzen sprechen. Es ist hier nicht der Ort, diese Frage, die bei Göbel (1898 p. 17), Henslow (1895) und Klebs (1903) ihre Begründung gefunden hat, näher zu erörtern; wir begnügen uns mit dem Hinweis auf die Arbeiten dieser Autoren. —

Um die verschiedenen Variationsformen von Jus. rep. zu erhalten, wurden Stecklinge von dieser Pflanze in verschiedenen Stellen des Botanischen Gartens zu Halle ausgepflanzt; alle Versuchspflanzen stammen von zwei Stecklingen aus dem botanischen Garten in München, so dass wir es durchweg mit Variationen einer elementaren Art im Sinne von Jordan und de Vries zu tun haben. Wir geben zunächst eine Beschreibung der Standorte, an welchen die verschiedenen Variationsformen kultiviert wurden und wir wollen dabei die Pflanzenformen nach ihren Standorten kurz benennen.

1. **Warmbassin** (20—25° C). Stecklinge in Erde unter Wasser, im Juni eingepflanzt, zuerst schwach geheizt. Pflanze meist schwimmend; im August und September auch herausragende Zweige. Intensive Beleuchtung. Bassin frei im Garten.

2. **Gartenbassin.** Pflanzen in Erde unter Wasser eingepflanzt; nicht geheizt; Pflanzen meist schwimmend; im August und September herausragende Zweige. Intensive Beleuchtung. Temperatur im Juli und August ungefähr so wie im Warmbassin.

3. **Untergetaucht.** Töpfe von im Gewächshaus gezogenen Pflanzen in ein Bassin (1 m tief) Anfang August gestellt.

---

[1]) Es soll noch an dieser Stelle auf die im Literatur-Verzeichnis nicht erwähnten Untersuchungen von G. Bonnier, die in Rev. Gen. de Bot. uud Ann. d. Sc. Nat. veröffentlicht sind, aufmerksam gemacht werden.

4. **Herausragende Pflanzen.** Herausragende Teile der Wasserpflanzen von Warm- und Gartenbassin. Das Herausragen beginnt Anfang August; Beleuchtung noch verhältnismässig intensiv.

5. **Trockenbeet.** Stecklinge im Juni eingepflanzt; Beet nicht begossen; intensive Beleuchtung. Pflanzen plagiotrop.

6. **Feuchtbeet.** Stecklinge von der Land- und Wasserform Ende Juli eingepflanzt; Beet begossen; verhältnismässig intensive Beleuchtung. Pflanzen plagiotrop.

7. **Viktoriahaus.** Töpfe von den im Gewächshaus gezogenen Pflanzen Anfang August ins Viktoriahaus gestellt. Intensive Beleuchtung und verhältnismässig feuchte Luft.

8. **Schattenpflanzen.** Töpfe mit im Gewächshaus gezogenen Kulturen in Schatten gestellt; einige Pflanzen in Beete im Schatten ausgeflanzt. Für genügende Feuchtigkeit gesorgt.

9. **Landpflanzen.** Töpfe in normaler Luft; für Feuchtigkeit gesorgt.

10. **Trockenpflanzen.** Töpfe von den im Gewächshaus gezogenen Pflanzen, frei im Garten gestellt, nicht feucht.

11. **Winterpflanzen.** Im Gewächshaus im Winter gezogen. a) feucht im Gewächshaus oft begossen. b) trocken in der Trockenabteilung des Gewächshauses. c) sehr feucht unter einer Glocke mit Fliesspapier, das in Wasser taucht; d) untergetaucht in einem Glaszylinder unter Wasser.

Bei der Vergleichung der verschiedenen Formen wird uns zunächst die äussere Morphologie des Stengels und der Blätter, dann ihre anatomischen Unterschiede, beschäftigen, diesen soll die Beschreibung der Wurzelformen, die bei der Wasserform sehr mannigfaltig sind, und unter welchen sich auch die sogenannte „aerotropischen“ Wurzeln befinden, folgen; im Anschluss an die Schilderung der Wurzeln wollen wir die anatomischen Charaktere des Stengelaerenchyms behandeln; ferner sollen einige Angaben über die Bedingungen der Aerenchymbildung sowie über den negativen Geotropismus oder Aerotropismus der Luftwurzeln gemacht werden. Zum Studium des Aerenchyms hatte ich ausser J. rep. noch Jus. californica und Jus. salicifolia zur Verfügung.

Den Schilderungen der Versuchsergebnisse schicken wir einige Daten über die systematische Stellung und die geographische Verbreitung unserer Versuchspflanze voraus. —

Jus. rep. gehört zu den Onagraceen und hat nach Schenk (1889) eine ausserordentliche weite Verbreitung in allen wärmeren Ländern; nach Martins (1866) ist die Grenze ihrer Verbreitung 35° nördlich und südlich

vom Äquator; sie wächst in sumpfigen Tümpeln, an Flussufern und verbreitet sich rasch auf vegetativem Wege wie durch Samen.

Das, was Martins unter Jus. rep. versteht, wird wahrscheinlich eine Sammelspecies sein: nach der Form der Blätter (Länge und Breite der Blätter) und der Länge der Wurzeln unterscheidet sich die von mir untersuchte Jus. Form nicht unerheblich von der von Martins beschriebenen.

Die Untersuchungen, deren Ergebnisse die nachfolgenden Blätter behandeln, wurden im Botanischen Institut zu Halle auf Anregung von Herrn Prof. Klebs ausgeführt. Für seine Anleitung und liebenswürdige Unterstützung bin ich meinem hochverehrten Lehrer aufrichtig dankbar. Ebenso bin ich Herrn Privatdozenten Dr. E. Küster, welcher mir in vieler Beziehung zur Seite gestanden hat, zu Danke verpflichtet.

# I. Äussere Morphologie.

Betrachten wir die in den Abbildungen[1]) (Taf. 1—3) wiedergegebenen Habitusbilder der verschiedenen Formen, so fällt uns ohne weiteres der Unterschied in der Form der Blätter, und der Länge der Internodien auf; daneben macht sich eig Unterschied in der Behaarung bemerkbar.

Über die Länge der Internodien gibt folgende Tabelle Aufschluss.

## Tabelle I.

### Durchnittliche Internodienlänge in mm.

| | Warmbassin gemessen Anfang August | Gartenbassin gemessen Ende Septbr. | Warmbassin gemessen Ende Septbr. | Untergetaucht gemessen Ende Septbr. | Victoriahaus gemessen Ende Septbr. | Feuchtbeet gemessen Ende September | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Steckl. von der Luftpfl. | Steckl. von der Wasserpfl. |
| Zahl der Pflanzen | 17 | 40 | 10 | 12 | 8 | 4 | 10 |
| Zahl d. Internodien | 443 | 1008 | 319 | 387 | 166 | 123 | 312 |
| Internodienlänge | 52 | 48 | 31 | 26 | 23 | 21 | 25 |
| Dicke | — | 6—7 | 6 | — | — | 4 | 4—5 |

| | Schattenpflanze | Herausragend | Trockenbeet | Winterpflanze |
|---|---|---|---|---|
| Zahl der Pflanzen | 9 | 5 | 10 | 3 |
| Zahl der Internodien | 193 | 119 | 532 | 95 |
| Internodienlänge | 19 | 17 | 11 | 8 |
| Dicke | 3,5 | — | 3 | 1—2 |

[1]) Die Abbildungen und die Figuren sind nach der Natur und nach mikroskopischen Präparaten von Frau E. Rostowzew gezeichnet; es ist für mich eine angenehme Pflicht, Frau Rostowzew auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Vergleichen wir alle im Sommer gewachsenen Formen auf ihre Internodienlänge, so sehen wir, dass die Wasserpflanzen vom Warmbassin, also die in freier Natur bei intensivem Lichte gewachsenen Pflanzen, die längsten Internodien zeigen. Die kürzesten Internodien finden wir bei der Pflanze, die auf dem Trockenbeet erwachsen ist. Da beide in ihrem Habitus so verschiedenen Exemplare unter gleichen Lichtverhältnissen gross geworden sind, wird die Ursache ihrer unterschiedlichen Entwicklung der Internodien auf die ungleiche Wasserversorgung der Pflanzen zurückzuführen sein.

Nun darf freilich die Internodienlänge an sich nicht unmittelbar zum Massstab der Wachstumsschnelligkeit gemacht werden, bevor wir nicht der Internodienzahl gleich alter Stengelstücke Rechnung getragen haben. In der Tat bilden Trockenpflanzen wie wir aus Eberhardts (1903) Mitteilungen sehen, mehr Internodien[1]) als solche von feuchten Lokalitäten. In unseren Fällen jedoch ist gleichwohl die Wachstumsschnelligkeit am grössten bei denjenigen Exemplaren, welche die längsten Internodien aufweisen, ohne dass jene der Internodienlänge proportional wäre.

Zweitens ist zu untersuchen, wie die Intensität der Beleuchtung auf die Streckung der Internodien wirkt. Wie allgemein angenommen wird (Pfeffer II 1901 p. 108), wirkt Licht hemmend auf das Längenwachstum. Dafür sprechen auch meine Versuche mit Jus. rep., insbesondere Vergleiche etiolierter mit gewöhnlichen Pflanzen. Die Experimente lieferten folgende Zahlen:

**Landpflanzen. Versuch im Gewächshaus im Wasser.**

(Dauer des Versuchs 15./VI.—26./VI.)

a) Im Licht.

| | Pflanze mit Blättern. | | Entblätterte Pflanze. | | Pflanze invers. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anfang des Versuchs | 78 mm | Dif. | 83 mm | Dif. | 130 mm | Dif. |
| Ende „ „ | 301 „ | 223 | 168 „ | 85 | 158 „ | 28 |

b) Im Dunkeln.

| | Pflanze mit Blättern. | | Entblätterte Pflanze. | | Pflanze invers. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anfang des Versuchs | 75 mm | Dif. | 79 mm | Dif. | 115 mm | Dif. |
| Ende „ „ | 421 „ | 356 | 233 „ | 154 | 152 „ | 37 |

[1]) Vielleicht ist die Vermehrung der Internodien an Trockenpflanzen ursächlich auf irgend welche Transpirationsverhältnisse zurückzuführen.

**Wasserpflanzen. Versuch im Bassin im Freien.**

Dauer des Versuchs 31./VII.—7./VIII.)

| | a) Im Licht. | | b) Im Dunkeln. | |
|---|---|---|---|---|
| Anfang des Versuchs | 365 mm | Dif. | 326 mm | Dif. |
| Ende „ „ | 465 „ | 100 | 590 „ | 264 |

Nachdem wir oben Pflanzen beschrieben haben, die trotz gleicher Lichtverhältnisse ungleich lange Internodien aufwiesen, treffen wir jetzt auf Pflanzen, deren Kultur sich im wesentlichen nur in den Lichtverhältnissen unterscheidet:

Vergleichen wir zunächst die Schattenpflanzen, die Exemplare vom Victoriahaus und die vom Feuchtbeet, so finden wir bei den Pflanzen, die unter intensiver Beleuchtung erwachsen sind, (Victoriahaus Internodienl. 23 mm Feuchtbeet 21 und 25mm) längere Internodien als an Pflanzen, die bei schwachem Lichte (Schattenpflanzen 19mm) kultiviert waren; auch zeigen die herausragenden Zweige, die bei gleicher Lichtintensität wie die schwimmenden Wasserpflanzen sich entwickelt hatten, kürzere Internodien als diese. Wir dürfen hiernach nicht ohne weiteres intensive Beleuchtung als wachstumhemmenden Faktor bezeichnen.

Wohl erscheint das Wachstum bei Vergleich von Licht- und Dunkelkulturen bei ersteren gehemmt. Bei Vergleich der Wirkung verschiedener Lichtintensitäten lässt sich aber eine Förderung der im hellen Licht erwachsenen Pflanzen konstatieren, die auf die Assimilationsleistungen der Pflanzen und hiernach auf ihre bessere Ernährung zurückzuführen sein dürfte. Daneben darf aber nicht vergessen werden, dass ungleiche Belichtung ungleiche Feuchtigkeitsverhältnisse für die Versuchspflanzen schafft. Darnach wird bei Beurteilung der Lichtwirkung immer der das Längenwachstum hemmende Einfluss der Trockenheit in Rücksicht zu ziehen sein. Dafür[1]) spricht auch die Beobachtung, dass untergetauchte Pflanzen, die im August ins Bassin gestellt waren (also schon bei nicht so günstigen Beleuchtungsverhältnissen, wie im Juni und Juli), sowie die Pflanzen vom Wasserbassin, die Ende September zur Untersuchung kamen, (es wurden dabei nicht zu alte Internodien gemessen), eine viel kleinere Mittelzahl für die Internodienlänge ergaben, als bei den Wasserpflanzen im Sommer;

[1]) Für die fördernde Wirkung des Lichtes auf das Längenwachstum.

jedenfalls ist die Internodienlänge bei diesen grösser als bei den Landpflanzen. Ausserdem ist darauf hinzuweisen, dass die Winterpflanzen eine geringe Internodienlänge zeigen, was vermutlich auf die ungünstigen Beleuchtungsverhältnisse zurückzuführen ist. — Auf die Wirkung der Wärme sind wir hier nicht eingegangen, da bei den in Vergleich gezogenen Kulturen keine nennenswerte Temperaturunterschiede vorlagen.

Fassen wir unsere bisherigen Ergebnisse zusammen, so kommen wir zu dem Schlusse, dass Lufttrockenheit wenn sie mit Bodentrockenheit verbunden ist, die Streckung der Internodien hemmt (Trockenbeet 11 mm Warmbassin 52 mm Gartenbassin 48 mm). Der Satz über die hemmende Wirkung des Lichtes behält seine Geltung wenn wir Licht mit Dunkelheit vergleichen; haben wir es mit verschiedenen Lichtintensitäten bei gleicher Feuchtigkeit zu tun, so scheint eher das Gegenteil zutreffend zu sein. —

Was die Dicke des Stengels anbetrifft, so finden wir bei der Wasserform die stärksten Triebe. Ihre verhältnismässig starke Dicke, wird wohl wie später aus den histologischen Mitteilungen hervorgehen wird, auf die Entwicklung geräumiger Luftintercelluraren im Rindenparenchym zurückzuführen sein. Übrigens zeigen die Wasserstengel nicht überall dieselbe Dicke, vielmehr sind die untersten Teile, also diejenigen, welche in grösserer Tiefe erwachsen sind, bedeutend dünner; die Erscheinung wird darin ihre Erklärung finden, dass unter dem Wasserspiegel die Blätter nur geringe Entwicklung erfahren; später wenn der Spross die Wasseroberfläche erreicht hat, entwickeln sich kräftigere Blätter mit zahlreichen Spaltöffnungen, die eine gute Luftversorgung und damit auch eine bessere Ernährung der Pflanze ermöglichen. — Die Stengel der Landpflanzen sind im allgemeinen dünner, doch zeigen Pflanzen, die von Stecklingen der Wasserpflanzen stammen eine grössere Dicke als die von Landpflanzenstecklingen (s. Tabelle Feuchtbeet), wir haben es hier mit einer Art Nachwirkungserscheinung zu tun; die Intercelluraren werden zunächst noch nicht sonderlich reduziert, erst nach längerer Zeit nimmt ihre Grösse ab. Ähnlich wie Wasser wirkt auch relativ grosse Feuchtigkeit begünstigend auf die Dicke des Stengels. Die geringe Dicke der Winterpflanzen wird auf die geringe Assimilationsfähigkeit wie die schwache Entwicklung der Blätter dieser Form zurückzuführen sein.

Prüfen wir schliesslich noch den Stengel auf seine Lage, so finden wir bei den verschiedenen Land- und Wasserformen von Jus. rep. sowohl plagiotrope wie orthotrope Stengel. Kultivieren wir die Pflanze in der Sonne im Wasser, so entstehen plagiotrope Stengel mit aufrecht wachsenden Seitenzweigen, welche die Oberfläche des Wassers erreichen und auf ihr schwimmend weiterwachsend. Kultivieren wir die Pflanze im Schatten (in Erde oder Wasser) oder bei mässigem Lichte, so entstehen nur orthotrope Stengel. In Erde gepflanzte Exemplare, (Trocken- oder Feuchtbeet) treiben bei intensiver Sonnenbelichtung plagiotrope Sprossen. Betreffend den Habitus der Wasserpflanzen ist noch zu bemerken, dass gegen Anfang August fast alle Pflanzen in Wasser- und Gartenbassin aufrecht zu wachsen anfangen, und die aufrechtwachsenden Teile die charakteristische Form der Landpflanzen annehmen (wir haben die Form früher als „herausragend“ bezeichnet): die Blätter sind lanzettförmig, Stengel und Blätter behaart. Welcher Wirkung diese Aufwärtskrümmung zuzuschreiben sei, ist nicht leicht zu entscheiden; vielleicht hängt sie mit der kühleren Witterung und grösseren Feuchtigkeit seit Anfang August zusammen, vielleicht ist sie auf die dichtere Lagerung der Pflanzen zurückzuführen; dafür spricht, dass einige Pflanzen, für deren Ausbreitung genügend Platz geblieben war, plagiotrop weiter wuchsen; andererseits ist zu beachten, dass aufrecht gekrümmte Pflanzen auch dann, wenn sie in ein geräumiges Bassin versetzt werden, und zunächst orthotrop weiterwachsen.[1]) Die gleichen Wachstumserscheinungen finden sich auch an wild wachsenden Exemplaren; Schenck schildert den Habitus der Pflanze folgendermassen: „Die krautigen Stengel kriechen auf dem Boden von Tümpeln und entsenden nach oben flottierende Triebe, die mit ihren oberen Teilen samt den in den Blattachsen entspringenden Laubtrieben über das Wasser sich erheben“ (1889, p. 537.) Hiernach liegt es nahe, in der Lichtintensität und Lufttrockenheit die Faktoren zu sehen, welche die orthotrope oder plagiotrope Lage des Stengels bestimmen; meine Versuche, diese Frage zu lösen, führten zu keinem entscheidenden Resultate, doch sollen die Ergebnisse hier kurz mitgeteilt werden.

[1]) Die Versuche mussten abgebrochen werden; es liess sich daher nicht feststellen, ob die orthotrope Haltung der Sprosse dauernd beibehalten geblieben wäre.

**a) Versuche mit plagiotropen Stengeln.**

Um zu prüfen inwieweit das Licht von Einfluss ist, wurden einige Spitzen der im Wasserbassin wachsenden Pflanzen verdunkelt, die andern dagegen hell unter einer Glocke gelassen. Es wurden vier Versuche angestellt. 1. hell und feucht (unter der Glocke befand sich ein Gefäss mit Wasser; das Fliesspapier, das einen Teil der Glocke innen auskleidete tauchte in Wasser), 2. hell und verhältnismässig trocken (Spitze unter einer Glasglocke), 3. dunkel und feucht (Glocke verdunkelt mit einem Gefäss mit Wasser und mit Fliesspapier wie bei 1, 4. dunkel verhältnismässig trocken, Glocke verdunkelt. Bei diesen Versuchen zeigten die verdunkelten Pflanzen, wie zu erwarten war, nach einigen Tagen eine Krümmung, die Spitzen der beleuchtenden Pflanzen fuhren fort weiter horizontal zu wachsen.

Versetzt man einen horizontalen Trieb der Wasserpflanze in Erde an schattigem Standort, so wächst er orthotrop, in der Sonne wird er plagiotrop (dabei bewurzelt sich oft die Pflanze mit den der Erde aufliegenden Knoten). In Wasser wachsen die plagiotropen Triebe aufrecht, bis sie die Oberfläche des Wassers erreichen, dann aber wachsen sie plagiotrop weiter (Ausnahme: die schon geschilderten aufrechtwachsenden Triebe im August).

Wird eine Spitze der Wasserpflanze auf der Wasseroberfläche verdunkelt, so krümmt sich die Spitze und wächst aus dem Wasser heraus.

**b) Versuche mit den orthotropen Trieben.**

Bei Kultur in Wasser und an der Sonne verhalten sich die Triebe der Landpflanzen wie die plagiotropen der Wasserexemplare, und nach verhältnismässig kurzer Zeit verwandelt sie sich in eine typische Wasserpflanze. Wird ein orthotroper Trieb in die Erde verpflanzt, so wird er bei intensiver Beleuchtung plagiotrop und bewurzelt sich oft, wie oben mitgeteilt. Untergetaucht wachsen sie orthotrop bis sie die Wasseroberfläche erreichen;[1]) das weitere Wachstum hängt von der Lichtintensität ab. Bei starker Beleuchtung wachsen sie plagiotrop an der Wasseroberfläche, bei schwacher orthotrop weiter. Einen orthotropen Trieb in einen plagiotropen bei schwachem Licht oder bei Dunkelheit zu verwandeln, ist mir nicht gelungen, obwohl die

[1]) Ähnliches hat Klebs (1903 S. 93) bei Glechoma hederacea beobachtet.

Versuchspflanzen dabei einem ziemlich hohen Grade von Lufttrockenheit (30—40% relativer Feuchtigkeit) ausgesetzt wurden.

Unsere bisherigen Ergebnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Bei hellem Lichte bilden die Pflanzen der Regel nach plagiotrope Triebe.

2. Bei schwachem Lichte sind die Hauptsprossen durchweg orthotrop. Dieselbe Wachstumweise findet sich bei den im Dunkeln erzogenen und den im Wasser untergetauchten Exemplaren, — so lange diese den Wasserspiegel nicht erreichen. Über dem Wasser werden die Pflanzen bei hellem Licht plagiotrop, wie es auch sub 1 bereits angegeben wurde, bei schwachen wachsen sie weiter orthotrop.

Ob die Lichtwirkung allein für die Wachstumsrichtung der Triebe bestimmend ist, oder die Wirkung der Lufttrockenheit dabei auch in Betracht

## Tabelle II.

**Grössenverhältnisse der Blätter in mm. Blattoberfläche in □mm.**

| | Trockenbeet | Feuchtbeet | | Victoriahaus | Schattenpflanze | Herausragend | Übergangsblätter[1]) | Wasserpfl. Warm- u. Gartenbassin | Winterblätter | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Steckl. v. einer Landpfl. | Steckl. v. einer Wasserpflanze | | | | | | feucht | trocken |
| Zahl d. untersuchten Pfl. . | 12 | 5 | 10 | 3 | 9 | 22 | 7 | 59 | | |
| Zahl d. untersuchten Bl. . | 203 | 98 | 163 | 29 | 101 | 174 | 38 | 710 | | |
| Blattoberfl. . | 628,0 | 1099,0 | 1547,76 | 2213,7 | 2260,8 | 3692,64 | 3391,2 | 2967,30 | 285,74 | 775,58 |
| Länge . . . | 20 | 25 | 38 | 47 | 40 | 56 | 54 | 45 | 13 | 19 |
| Breite . . . | 10 | 14 | 18 | 15 | 18 | 21 | 20 | 21 | 7 | 13 |
| Verhältnis der Br. z. Länge L. 100 Br. . | 50 | 56 | 47 | 31 | 45 | 37 | 36 | 44 | 54 | 68 |
| Stiel . . . | 6 | 10 | 15 | 13 | 12 | 14 | 17 | 18 | 7 | 7 |
| Verhältnis des Stiel. z. Blattlänge Bl. L. 100 St. . . | 30 | 40 | 39 | 27 | 30 | 25 | 31 | 40 | 54 | 31 |

[1]) Als Übergangsblätter bezeichne ich solche, die auf Pflanzen mit herausragenden Zweigen weder zu den Wasserblättern noch zu den herausragenden gerechnet werden können.

kommt, lässt sich nicht entscheiden, da bei einer intensiven Lichtwirkung die Lufttrockenheit ein schwer zu eliminierender Faktor ist. Unaufgeklärt bleiben die Gründe, welche viele meiner Wasserpflanzen im August zum Aufrichten ihrer bisher plagiotropen Zweige veranlassten.

## Die Blätter.

### Tabelle II.

Was die Ausbildung der Blätter unter ungleichen Kulturbedingungen betrifft, so ersehen wir aus der beigefügten Tabelle, dass die Wasserblätter die längsten Stiele haben, sowohl in absoluter Grösse, als auch im Verhältnis zur ganzen Blattlänge; den kleinsten Stiel der absoluten Grösse nach haben die Pflanzen vom Trockenbeet (trockene Luft und verhältnismässig trockener Boden); das Verhältnis von Stiel und Blattlänge ist bei fast allen Landformen das gleiche (25 (27, 30):100); nur die Pflanzen vom Feuchtbeet zeigen längere Stiele; verhältnismässig kurze Stiele haben die Winterblätter der Trockenpflanzen. Wir dürfen also folgern, dass das Wasser, resp. die Feuchtigkeit das Längenwachstum des Blattstieles begünstigt.

Auf den Unterschied in der Internodienlänge und in der Länge des Blattstieles zwischen Land- und Wasserformen bei andern amphibischen Pflanzen hat bereits Goebel (II 1893, p. 229) aufmerksam gemacht.

Die Blattform variiert innerhalb verhältnismässig weiter Grenzen. Bei der Wasserpflanze (Taf. 1) haben wir fast herzförmige Blätter (Verhältnis von Breite zur Länge 44 : 100). Unter dem Einfluss trockener Luft entstehen Blätter, deren Länge im Verhältnis zur Breite stark gefördert erscheint (Verhältnis von Bt. z. L. 37 : 100) (vergl. Taf. 2a); an herausragenden Sprossteilen der im Wasser wurzelnden Pflanzen entstehen gestreckt eliptische, fast lanzettförmige Blätter. Bei trocken gehaltenen landbewohnenden Formen erscheinen wieder Übergänge zur Herzform (Taf. 2b) (Verhältnis von Bt. z. L. 50 : 100).

Vergleichen wir die Blattoberfläche aller genannten Pflanzenformen — der Einfachheit wegen wollen wir bei der Berechnung annehmen, dass alle Blätter Ellipsenform haben — so konstatieren wir für die Blätter vom Trockenbeet die kleinste Oberfläche, ihnen am nächsten kommen die Blätter

vom Feuchtbeet, hierauf die vom Viktoriahaus und von den Schattenpflanzen. Ihr Maximum erreicht die Blattoberfläche bei den herausragenden Pflanzen geringer fällt sie bei dem Übergangs- und Wasserblättern aus; bei völlig untergetauchten Blättern[1]) konstatieren wir eine weitere bedeutende Reduktion.

Wir wollen hiernach zu ermitteln suchen, welchen von den für uns in Betracht kommenden Faktoren eine Wirkung auf die Blattoberflächenvergrösserung zugeschrieben werden kann.

Dufour (1887 p. 351) hat darauf hingewiesen, dass das Licht fördernd auf das Wachstum in allen Richtungen, also auch auf die Oberflächenvergrösserung der Blätter wirkt. Dafür spricht in der Tat ein Vergleich der herausragenden und Wasserblätter mit den Schattenblättern, für welche ein grosser Unterschied in der Beleuchtungsintensität in Betracht kommt: die ersteren haben eine viel grössere Oberfläche als diese. Auch sind die Winterblätter viel kleiner als die Blätter der Sommerpflanzen, wobei ebenfalls die Reduktion der Blattgrösse auf schwächere Belichtung zurückzuführen sein wird.

Neben der Wirkung des Lichtes sind aber noch andere Faktoren zu berücksichtigen, von allem der Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Bei den untergetauchten Blättern konstatieren wir die geringste Oberfläche, grössere Blätter finden wir bei Wasserpflanzen (Blätter bei verhältnissmässig feuchter Luft), hiernach bei den Übergangsblättern und den herausragenden Trieben. Je geringer der Feuchtigkeitsgehalt der Umgebung, desto grösser fallen also die Blätter aus. Nimmt aber die Luftfeuchtigkeit über ein bestimmtes Mass hinaus ab, so tritt eine Reduktion der Blattoberfläche ein (z. B. Blätter vom Feucht- und Trockenbeet). Anstatt allgemein der Luftfeuchtigkeit einen hemmenden oder fördernden Einfluss auf das Wachstum der Blätter zuzuschreiben, wollen wir vielmehr ein Optimum in der Wirkung der Luftfeuchtigkeit annehmen, bei dem die Blätter am grössten ausfallen; oberhalb und unterhalb des Optimalpunktes werden Blätter von geringeren Dimensionen gebildet. Zum Ausdruck kommt die Abhängigkeit des Blattwachstums vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft selbstverständlich nur bei gleicher Lichtintensität. Überdies ist zu bemerken, dass der Optimalpunkt der Luftfeuchtigkeit bei ungleichen Belichtungsverhältnissen verschieden hoch liegt.

[1]) Infolge Mangels an Material habe ich an Pflanzen der letzten Art keine eingehende Statistik anstellen können.

Wollen wir die geschilderten Wachstumsreaktionen der Pflanze mit den Transpirationsverhältnissen in Beziehung bringen, so können wir mit Tschaplowitz (1883) annehmen, dass für die Pflanze ein Transpirationsoptimum bestehen muss, „bei welchem die Pflanze ihre Funktionen am intensivsten vollzieht, während die Entwickelung derselben eine entsprechende Einbusse erfährt, wenn das Optimum überschritten wird oder die Transpiration unterhalb desselben verbleibt. Hiernach würde für die Wirkungen der Luftfeuchtigkeit dasselbe Gesetz, nämlich des Minimums, Optimums und Maximums bestehen, wie für die übrigen Wachstumsfaktoren.“ (Citiert nach Wollny 1898 p. 9.)

Bodentrockenheit, (insofern sie nicht mit Lufttrockenheit verbunden ist), wirkt leicht hemmend auf die Entwickelung der Pflanzen im allgemeinen und das Wachstum des Blattes im besonderen.

Unter den weiteren Merkmalen, die das Äussere aller unserer Formen charakterisieren, nennen wir an erster Stelle die Behaarung. Die Blätter resp. Stengel der Wasserform sind im allgemeinen kahl und nur an denjenigen Stellen, die nicht ganz vom Wasser bedeckt sind, schwach behaart. Die Pflanzen, die bei einer mässigen Lufttrockenheit erwachsen sind, (Land- und herausragende Pflanzen) sind reichlich behaart; dagegen zeigt sich bei den trockener kultivierten Formen wieder eine geringere Behaarung, die Pflanze vom Trockenbeet zeigt von den Trockenpflanzen am wenigsten Haare, ihr Stengel ist behaart, aber die Haare sind weniger zahlreich und nicht so kräftig wie bei der Landform und bei der herausragenden Pflanze. Dasselbe gilt für die Winterblätter: Blätter, die im Gewächshaus in feuchter Luft erwachsen sind, haben keine Haare. Blätter von der Trockenform sind behaart; eine Kultur die bei zunehmender Trockenheit die Zahl der Haare abnehmen lässt, haben wir unter den Winterpflanzen nicht, da keine entsprechenden Versuche angestellt wurden.

An Gewächshauskulturen lässt sich während des Winters beobachten, dass die Behaarung allmählich schwindet: Pflanzen vom Kalthaus, die stark behaart waren, zeigten auf den nachher im Gewächshaus entstandenen Teilen keine Haare.

Ein weiteres Merkmal, das die Trockenblätter charakterisiert, ist ihr schwach gezähnter Blattrand; Wasserblätter und Blätter in feuchter Luft (Winterblätter) sind durchaus ganzrandig, die Blätter von allen Landformen und von der herausragenden Pflanze erwiesen sich unter dem Mikroskop gezähnt.

# II. Anatomie.

Bei der nachfolgenden Vergleichung der anatomischen Struktur wollen wir zunächst den Bau der Blätter, insbesondere der Epidermis behandeln uud die Verteilung der Spaltöffnungen eingehend prüfen. —

Die Verteilung der Spaltöffnungen auf Pflanzen, die von verschiedenen Standorten kommen, ist schon von vielen Autoren studiert worden.

Die Frage nach der Wirkung äusserer Bedingungen auf die Bildung von Spaltöffnungen ist nach Küster (1903 p. 45) eine der ersten aus dem Gebiet der pathologischen Anatomie, die experimentell in Angriff genommen worden ist. So citiert Küster aus der „Anatomie der Pflanzen“ von Rudolphi (1807) die Widerlegung der Angabe von de Candolle, dass das Licht zur Bildung der „Poren“ notwendig sei und weiterhin der anderen Angabe desselben Autors, dass Landpflanzen unter Wasser gezogen keine Spaltöffnungen mehr bilden; Versuche mit Mentha bewiesen das Gegenteil.

Rudolphis Ansicht ist aber nicht unbestritten geblieben; so sagt Weiss (1865, p. 181) „dass weder die Anzahl noch die Anordnung, noch die Gestalt, noch endlich die Grösse der Spaltöffnungen an natürliche Familien oder den anatomischen Bau der Blätter oder endlich an die Lebensweise des Gewächses gebunden, sondern gänzlich von derselben unabhängig ist.“ Weiter sagt Weiss: „Die allgemein verbreitete von Rudolphi zuerst aufgestellte Annahme, dass die Grösse der Spaltöffnungen im direkten Verhältnis mit der Substanz des Blattes stehe, eine Annahme, welche ohne irgend welchen Grund von Decandolle, Meyer, und allen folgenden angenommen wurde, widerlegt sich beim ersten Blicke auf die Werte der Tabelle III.“ Zu anderen Folgerungen ist Morren auf Grund der Zählungen von Spaltöffnungen auf

verschiedenen Pflanzen gekommen; er sagt, dass im allgemeinen Pflanzen von feuchten Standorten mehr Spaltöffnungen zeigen als Pflanzen von trockenen Standorten; zu derselben Ansicht neigen Tschirsch (1880 p. 168) und Volkens (1884), obwohl sie hervorheben, dass die Zahl der Spaltöffnungen für sich noch keine Schlüsse auf physiologische Beziehungen zulässt. Diese genannten Arbeiten zeigen ferner, dass auch der Bau der Spaltöffnungen von Feuchtigkeit, resp. Trockenheit des Standortes beeinflusst wird. —

**Tabelle III.**

**Zahl der Spaltöffnungen und der Epidermiszellen.**

| | | Wasserpfl. | Landpflanze | Herausragende | Trockenpflanze | Trockenbeet | Schattenpfl. | Feuchtbeet | Winterpflanzen | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | sehr feucht | feucht | trock. | untergetaucht |
| Zahl der Epidermiszellen auf eine Spaltöffnung | Oberseite | 6,4 | 6,2 | 6,1 | 6,7 | 7,4 | 7,9 | 8,2 | 6,5 | 6,3 | 6,7 | 14,3 |
| | Unterseite | 9,3 | 5,0 | 5,3 | 6,2 | 7,0 | 7,8 | 7,9 | 10,8 | 8,4 | 10,3 | 29,3 |
| Zahl der Spaltöffnungen auf eine Oberflächeneinheit 0,1 □mm | Oberseite | 21 | 23 | 18 | 24 | 21 | 14 | 18 | 29 | 37 | 23 | 13 |
| | Unterseite | 12 | 22 | 21 | 23 | 17 | 14 | 16 | 16 | 16 | 12 | 3 |
| Zahl der Epidermiszellen auf eine Oberflächeneinheit 0,1 □mm | Oberseite | 132 | 142 | 109 | 152 | 158 | 98 | 123 | 198 | 239 | 143 | 221 |
| | Unterseite | 84 | 135 | 116 | 152 | 121 | 94 | 111 | 167 | 163 | 129 | 205 |

Ich erwähne noch die Arbeiten von Brenner (1900) und Wollny (1898), die Exemplare derselben Spezies unter verschiedenen Bedingungen kultivierten und auf Zahl der Stomata hin untersuchten; sie stellten fest, dass die Feuchtigkeit auf die Zahl der Spaltöffnungen einen fördernden Einfluss hat. Lothellier (1893) und Eberhardt (1903) kamen allerdings zu dem entgegengesetzten Resultat, nämlich dass Lufttrockenheit die Bildung der Spaltöffnungen begünstige.

Mer (citiert nach Costantin 1886) und Dufour (1887 p. 378) schreiben der Lichtwirkung eine wichtige Rolle bei der Vergrösserung der Spaltöffnungs-

zahl zu. Wegen weiterer einschlägiger Arbeiten verweise ich auf Tschirsch 1880) Volkens (1884) und Costantin (1886). Die meisten Angaben beziehen sich auf die Berechnung der Spaltöffnungszahl, auf die Oberflächeneinheit; leider machen aber die Autoren keine Angaben über ihre Zählungsmethode. Weiss und auch Dufour (1887) haben schon darauf hingewiesen, dass nicht an allen Stellen ein Blatt gleich reich an Spaltöffnungen ist, so zeigen viele Blätter in der Mitte bedeutend mehr Spaltöffnungen als an der Basis, andere haben an der Spitze am meisten. Es ist daher unerlässlich sehr viele Zahlungen durchzuführen, um brauchbares Zahlenmaterial zu erhalten. Ich habe anfänglich 5 Zählungen[1]) auf jedem Blatt gemacht, später je 10 Zählungen (von der Spitze bis zur Basis je 5 Zählungen auf jeder Blatthälfte); die Zählungen beziehen sich auf das Gesichtsfeld des Mikroskops (bei Objektiv N. 7, und Okular 1, 0,1 □mm).

Tschirsch (1880) hat darauf hingewiesen, dass aus der Zahl der Spaltöffnungen an sich noch keine Schlüsse auf ihre physiologische Rolle gezogen werden dürfen, vielmehr muss noch ihre Grösse und Breite und der Spaltöffnungsmechanismus berücksichtigkeit werden; dem gegenüber ist zu bemerken, dass in unseren Fällen der Bau der Spaltöffnungen keine merkbaren Unterschiede aufwies, die anderen von Tschirsch berührten Schwierigkeiten glaube ich damit umgehen zu können, dass ich das Verhältnis der Epidermiszellen zu den Spaltöffnungen zahlenmässig feststelle.

Dieselbe Methode ist von Stapf (1889 p. 238) angewendet worden; auch in zwei neuen italienischen Arbeiten von Traverso und Mariani (zitiert nach Küster 1904 p. 26—27) wird von dem zahlenmässigen[2]) Verhältnis der Epidermiszellen zu den Spaltöffnungen gesprochen.

Wir wollen nun versuchen, auf Grund der vorstehenden Tabelle III die Wirkung der verschiedenen Faktoren auf die Bildung der Spaltöffnungen zu ermitteln und unsere Resultate mit denen früherer Autoren zu vergleichen.

---

[1]) Es wurden stets je 3 Blätter von jeder Variationsform untersucht; die Zahl der Epidermiszellen wurde nur in denjenigen Fällen in welchen 10 Zählungen auf jedem Blatte vorgenommen wurden bestimmt.

[2]) Das deutsche Referat gibt keine näheren Zahlenangaben.

Wie schon oft bemerkt, werden folgende Faktoren: Lichtintensität, Luft- und Bodentrockenheit, in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen. Zu ermitteln bleibt die Wirkung jedes dieser Faktoren auf die Zahl der Spaltöffnungen.

Vergleichen wir die Landform mit der Schattenform, deren Kulturbedingungen sich fast nur durch die Intensität der Beleuchtung unterscheiden (Schattenform vielleicht ein wenig feuchter), so finden wir, bei der Landform absolut mehr Spaltöffnungen auf der Oberflächeneinheit als bei der Schattenform, auch kommen weniger Epidermiszellen auf eine Spaltöffnung; bei den Landpflanzen ist ferner die Zahl der Stomata grösser als bei den Winterpflanzen, da bei jenen schon auf weniger Epidermiszellen als bei letzteren eine Spaltöffnung kommt; die Kleinheit der Epidermiszellen und der Spaltöffnungen bei den Winterpflanzen bringt es mit sich, dass die absolute Zahl der Stomata bei diesen grösser ist als bei den Sommerpflanzen. — Aus diesen Beobachtungen wird zu folgern sein, dass Licht die Bildung von Spaltöffnungen begünstigt.

Weiterhin ist zu prüfen wie Luft und Bodentrockenheit auf die Zahl der Spaltöffnungen wirken. Beim Vergleich von folgenden drei Formen: Wasserpflanze, Herausrag., und Landpflanze ergibt sich, dass die Zahl der Epidermiszellen, die auf eine Spaltöffnung kommen, bei den Herausrag. und den Landpflanzen am kleinsten ist. Da die herausragenden Pflanzen von den Wasserpflanzen sich nur durch den Grad der Lufttrockenheit unterscheiden, dürfen wir folgern, dass Lufttrockenheit begünstigend auf die Bildung der Spaltöffnungen wirkt. Um die Wirkung der allmählich zunehmenden Trockenheit zu studieren, vergleichen wir die Herausragenden mit den Trockenpflanzen und den Pflanzen vom Trockenbeet;[1]) wir sehen, dass die relative Zahl der Spaltöffnungen abnimmt; Lufttrockenheit und Bodentrockenheit scheinen also die Bildung der Spaltöffnungen zu hemmen. Zu derselben Folgerung führt der Vergleich der Winterpflanzen untereinander: auch bei ihnen nimmt die Zahl der Spaltöffnungen — absolut wie relativ — zuerst bei abnehmender Luftfeuchtigkeit zu, dann bei weiterer Abnahme der Luftfeuchtigkeit ab.

---

[1]) Bei der Pflanze vom Trockenbeet kommt noch Bodentrockenheit hinzu.

Auch hier wie bei der Grösse der Blattoberfläche existiert demnach ein Optimum der Feuchtigkeit, bei dem die Spaltöffnungen am reichlichsten ausgebildet werden. Anstatt kurzweg zu behaupten, dass Luftfeuchtigkeit die Bildung der Spaltöffnungen begünstigt, müssen wir folgern, dass Luftfeuchtigkeit und Trockenheit nur bis zu einem gewissen Grade fördernd, jenseits dieser Grenze aber hemmend wirkt.

Wie früher setzen wir auch hier zunächst konstante Lichtintensität voraus. Für jede Lichtintensität gibt es einen bestimmten Optimalpunkt hinsichtlich des Feuchtigkeitsgehaltes. Bei Verwirklichung der optimalen Bedingungen bildet die Pflanze ein Maximum von Spaltöffnungen aus (auf die Zahl der Epidermiszellen berechnet) resp. ein Minimum von Epidermiszellen (auf eine Spaltöffnung berechnet).

Ob die optimalen Bedingungen für die Bildung der Stomata und die Flächenentwicklung der Blätter miteinander zusammenfallen, muss zwar unentschieden bleiben, darf jedoch für Jus. rep. als wahrscheinlich[1]) bezeichnet werden. Zweckmässigkeitsgründe würden eine derartige Koinzidenz leicht verständlich machen.

Unsere Ermittelungen betreffend eines Optimalpunktes in der Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Stomatabildung wird vielleicht geeignet sein, die widersprechenden Angaben der Autoren über die Wirkung der Feuchtigkeit zu erklären. Ob diese Vermutung stichhaltig ist, lässt sich bei den unzulänglichen Angaben der Autoren über ihre Art der Spaltöffnungsberechnung u. s. w. nicht entscheiden.

Schliesslich ist noch zu ermitteln, wie der Aufenthalt im Wasser auf die Bildung der Spaltöffnungen wirkt. Die Frage ist schon oft behandelt worden; von Rudolphis Experimenten mit Mentha etc. war schon oben die Rede. Die weitere diesbezügliche Literatur ist bei Constantin (1886), dem Rudolphis Angaben wahrscheinlich nicht bekannt sind, zu finden. Wie aus der obenstehenden Tabelle zu ersehen ist, wirkt das Untertauchen[2]) hemmend auf die Ausbildung der Spaltöffnungen; dieser

[1]) Die Winterpflanzen kommen für diese Erwägungen nicht in Betracht, weil die Spaltöffnungszahl an Spätherbstformen festgestellt, die Blätter Anfang März gemessen worden sind.

[2]) Wie weit hier ausser der Berührung mit Wasser noch Lichtwirkung in Betracht kommt, ist schwer zu entscheiden; für die Annahme einer Lichtwirkung spricht der unten erwähnte Unterschied zwischen Oberseite und Unterseite.

Einfluss macht sich auf der Unterseite mehr geltend als auf der Oberseite: auf der Unterseite wird die Bildung der Spaltöffnungen fast völlig unterdrückt. Aus Fig. 2e ist zu sehen, dass die Spaltöffnungsmutterzellen angelegt sind, aber stellenweise nicht zur Teilung kommen; an vielen Spaltöffnungen ist überdies der Spalt besonders schmal. —

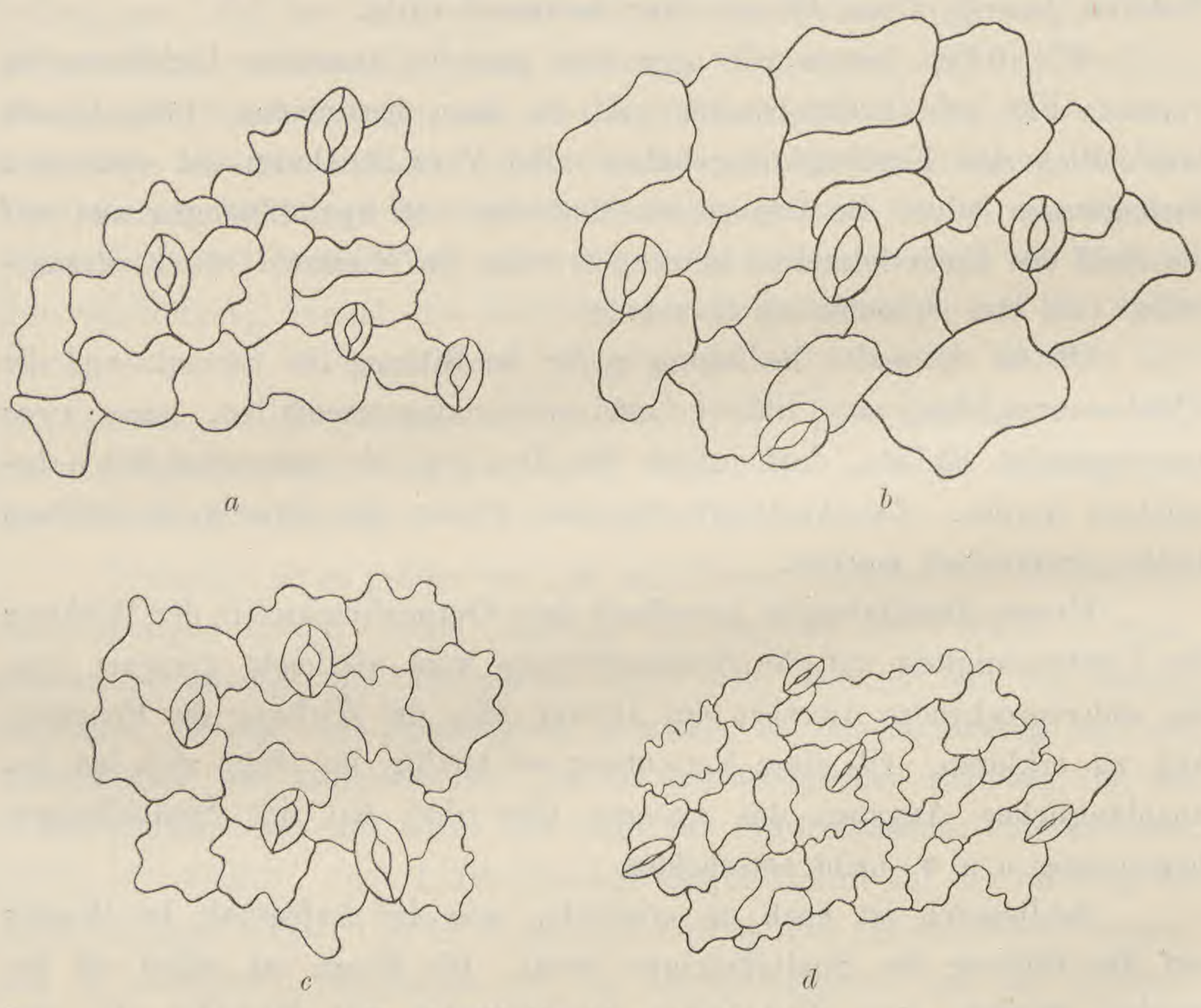



Fig. 1. Blattepidermis, Oberseite.
*a*) Trockenbeet. *b*) Herausragend. *c*) Wasserpflanze. *d*) Untergetaucht.

Was die Grösse der Epidermiszellen betrifft, so finden wir bei den Schattenpflanzen die grössten; diesen schliessen sich die Wasserpflanzen und die Herausragenden an, hiernach folgen der Zellengrösse nach die Trockenpflanzen und die Pflanzen vom Trockenbeet. Auch hier wird wohl ein Optimum in der Wirkung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft anzunehmen sein, derart, dass Feuchtigkeit bezw. Trockenheit bis zu einem gewissen

Grade fördernd, dann aber hemmend auf die Grössenentwicklung der Epidermiszellen wirkt. Dieselbe Abhängigkeit von äusseren Bedingungen

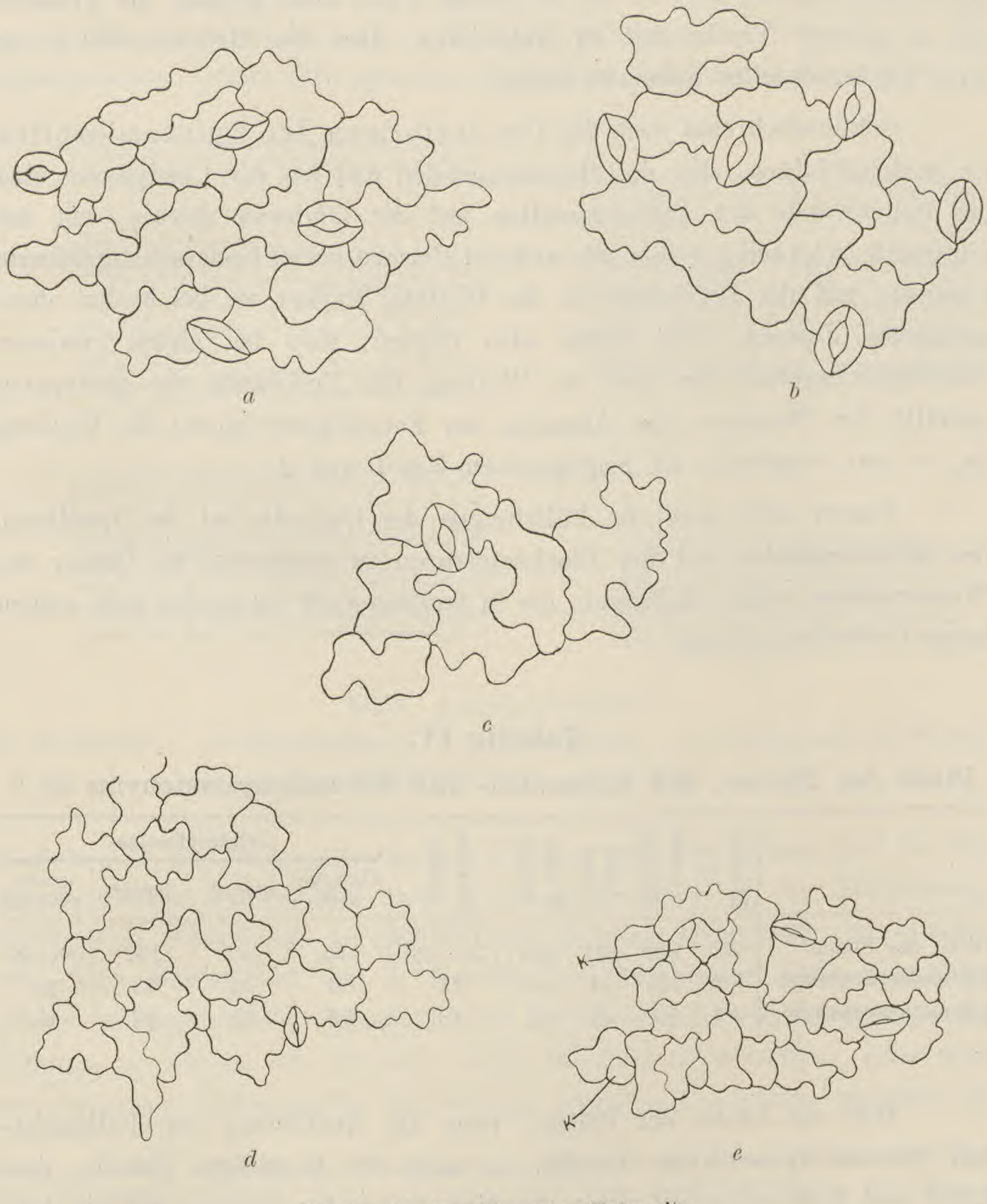



Fig. 2. Blattepidermis, Unterseite.

*a*) Trockenbeet. *b*) Herausragend. *c*) Wasserpflanze. *d*) u. *e*) Untergetaucht. K bei *e*) Spaltöffnungsmutterzellen, die zur Teilung nicht gekommen sind.

scheint, soweit sich aus einigen von mir angestellten Versuchen ersehen lässt, auch bei den Winterpflanzen erkennbar zu sein. Doch darf nicht unerwähnt bleiben, dass es uns in diesem Falle nicht gelang, die Pflanzen bei so grosser Trockenheit zu kultivieren, dass die Grössenentwicklung ihrer Epidermiszellen gehemmt wurde.

Schliesslich sind noch die Umrissformen der Epidermiszellen zu berücksichtigen. Bei der Herausragenden und bei der Landpflanze sind die Seitenwände der Epidermiszellen auf der Oberseite gerade, auf der Unterseite schwach gewellt; alle anderen Formen haben beiderseits undulierte Umrisse, auf der Unterseite ist die Wellung stärker als bei beiden obengenannten Formen. Wir dürfen also folgern, dass bei einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Wellung der Zellwände am geringsten ausfällt; bei Zunahme oder Abnahme der Feuchtigkeit nimmt die Wellung zu, — man vergleiche die beigegebenen Fig. 1 und 2.

Ferner sind noch die Fältelungen der Cuticula bei der Landform, den herausragenden und den Trockenpflanzen zu erwähnen; die Blätter der Wasserpflanze, sowie diejenigen, die in feuchter Luft entstanden sind, zeigen keine Cuticularstreifung.

## Tabelle IV.

**Dicke der Blätter, des Palissaden- und Schwammparenchyms in $\mu$**

| | Trockenbeet | Herausragende | Landform | Wasserpflanze | Schattenpflanze | Winterpflanzen | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Victoriahaus | trocken | feucht | untergetaucht |
| Dicke des Blattes | 252 | 242 | 231 | 220 | 176—187 | 165 | 165 | 132 | 88—89 |
| Palissadenparenchym | 108 | 108 | 84 | 108 | 76 | 60 | 52 | 43 | 38 |
| Schwammparenchym | 74 | 72 | 60 | 74 | 48 | 52 | 65 | 67 | 45 |

Was die Dicke der Blätter, resp. die Ausbildung des Palissaden- und Schwammparenchyms betrifft, so zeigt die beigefügte Tabelle, dass Licht und Lufttrockenheit einen deutlich fördernden Einfluss auf die Ausbildung des Palissadenparenchyms haben; man vergleiche Fig. 3. Fig. 3d zeigt ferner, dass die untergetauchten Blätter kein echtes Palissadengewebe

mehr besitzen, vielmehr besteht auch die oberste Schicht aus kurzen isodiametrischen Zellen.[1])

Bei der anatomischen Untersuchung der Stengel von den verschiedenen Formen fällt zunächst die stärkere Holzbildung der in trockener

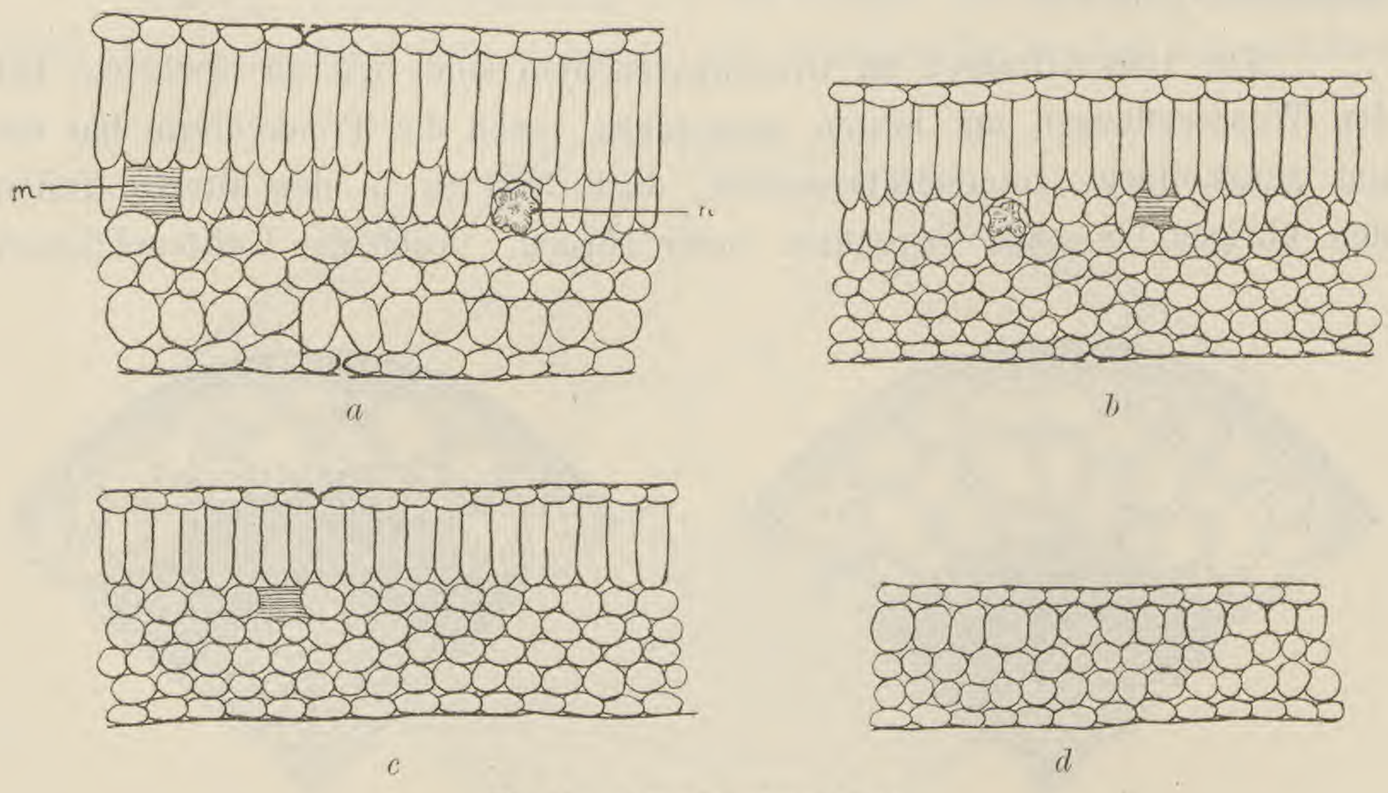



Fig. 3. Blattquerschnitt.

*a*) Trockenbeet. *b*) Schattenpflanze. *c*) Winterpflanze. *d*) Untergetaucht (im Winter).
*m* = Raphidenbünder. *n* = Druse.

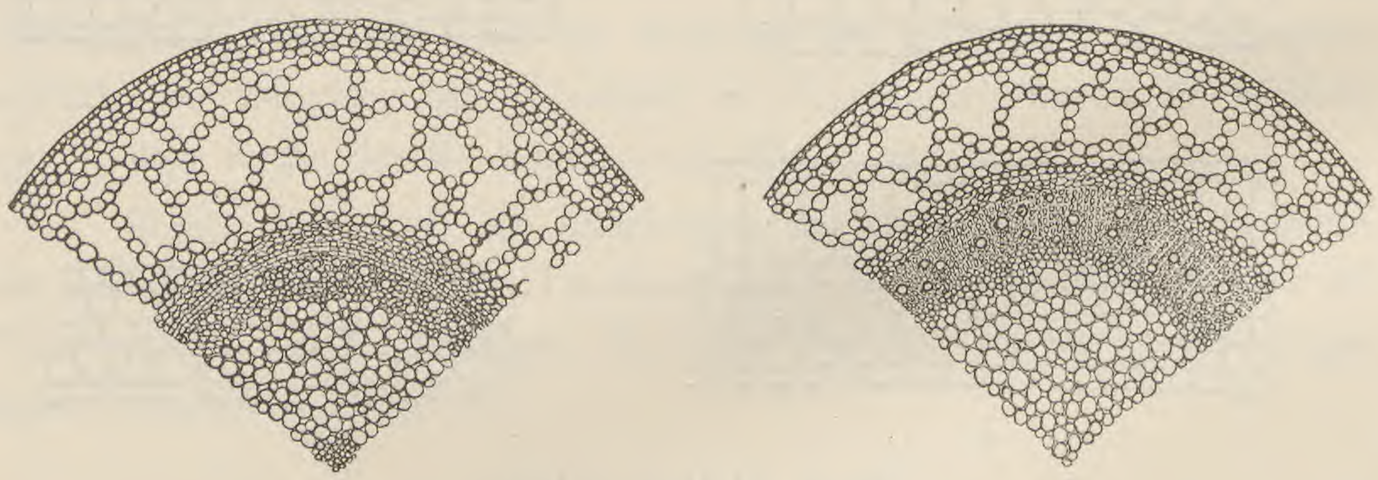
Luft und in der Sonne erwachsenen Formen auf; die Gefässe sind bei den Trockenformen zahlreicher. Der Unterschied im Grad der Holzbildung macht sich jedoch nur an gleichaltrigen Stücken bemerkbar; untersuchen wir einen älteren Teil der in feuchter Luft kultivierten Form oder einen älteren untergetauchten Sprossteil einer schwimmenden oder herausragenden Pflanze, so können wir oft recht starke Holzbildung antreffen. Dass auch an submersen Teilen starke Holzbildung möglich ist, lehren besonders die

[1]) Nach Abschluss des Manuskriptes erschien eine Mitteilung von Boselli (1904) über den Einfluss submerser Kultur auf äussere und innere Strukturverhältnisse der Pflanzen. Neben anderen Gewächsen untersuchte Verfasser auch Jussieua suffruticosa und kommt dabei hinsichtlich des hemmenden Einflusses auf die Gewebedifferenzierung der Juss. suff. zu ähnlichen Resultaten wie sie im Texte mitgeteilt wurden.

untergetauchten aerenchymbildenden Stengelteile; bei Jus. salic. bildet gerade der im Wasser untergetauchte, mit Aerenchym ausgestattete Teil des Stengels am meisten Holz. —

Was die Ausbildung der unter der Stärkescheide liegenden, verholzten Zellgruppen betrifft, so ist sie bei den Trockenpflanzen nur unwesentlich gefördert. —

Die Intercellularen im Rindenparenchym sind, wie zu erwarten, bei den Wasserpflanzen am besten ausgebildet, auch die Trockenform hat ein gut ausgebildetes Intercellularsystem, doch tritt es in den älteren Teilen den übrigen Geweben gegenüber mehr zurück. Auch die Luftfeuchtigkeit



*a* *b*

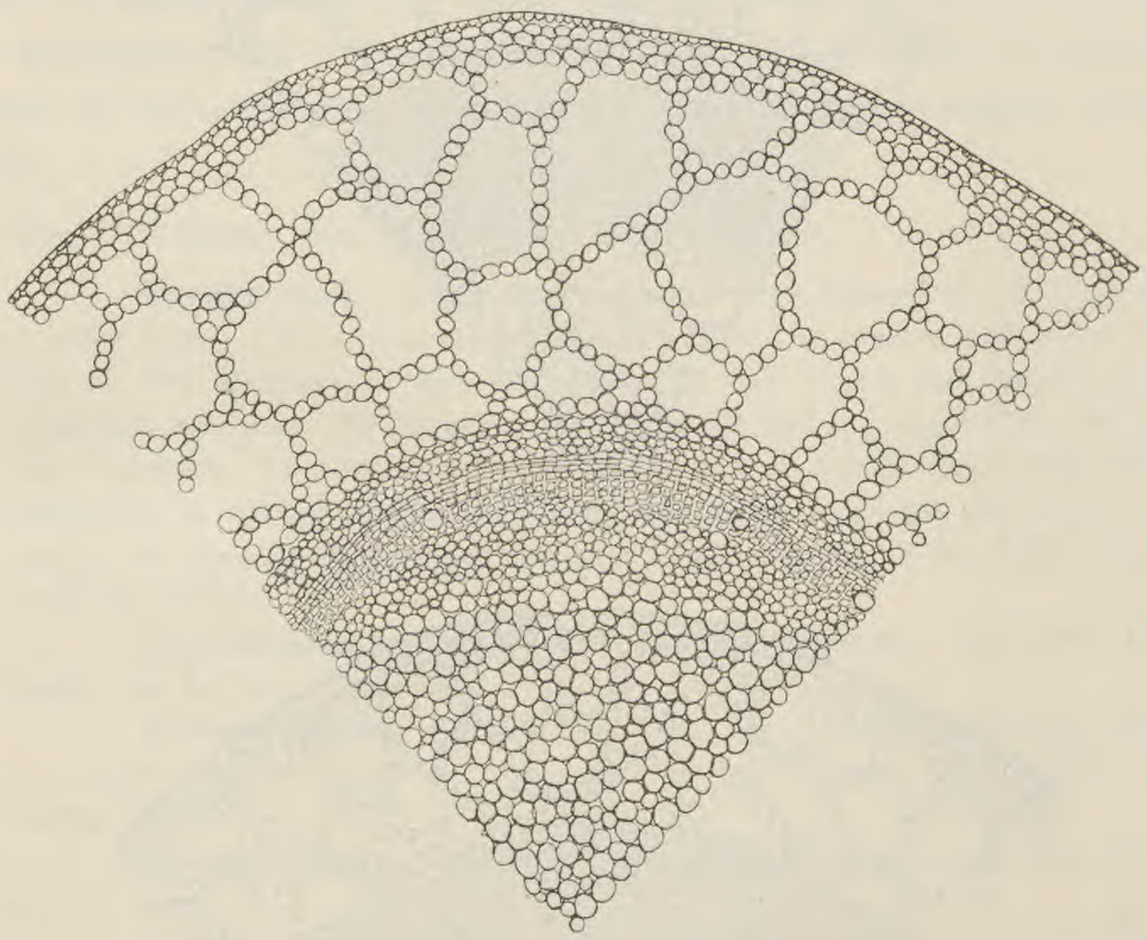
Fig. 4. Stengelquerschnitt (junge Internodien).
*a*) Wasserpflanze. *b*) Trockenbeet.

ist nicht ohne Einfluss auf die Ausbildung der Intercellularen: die in mässig trockener Luft kultivierten Pflanzen zeigen ein besser entwickeltes Intercellularsystem als die Trockenpflanzen. Die Entwicklung der Intercellularen im Stengelgewebe scheint von der Ausbildung der Blätter abhängig zu sein; bei Winterpflanzen, die verhältnismässig kleine Blätter haben, ist das Intercellularsystem schwach entwickelt. Bei grossblättrigen Formen sind die Intercellularen reichlich entwickelt.

Beim Versetzen der Wasserpflanze in Erde wird in den neu gebildeten Teilen das Intercellularsystem immer beschränkter, aber doch zeigen sie noch ein besser entwickeltes Intercellularsystem, als Sprossteile von gleichem Alter, die von der Landpflanze stammen; dadurch ist der oben

(Tabelle I Feuchtbeet) angegebene Unterschied in der Dicke des Stengels bei Wasser- und Landpflanzen, die unter gleichen Bedingungen auf dem Feuchtbeet erwachsen sind, zu erklären. Fig. 4 u. 5 sollen die Ausbildung der Intercellularen wie die Holzbildung bei verschiedenen Formen veranschaulichen.

Auf die Aerenchymbildung, die auf Stengel und Wurzeln der Wasserform sich beobachten lässt, kommen wir im folgenden Kapitel zu sprechen.



*a*

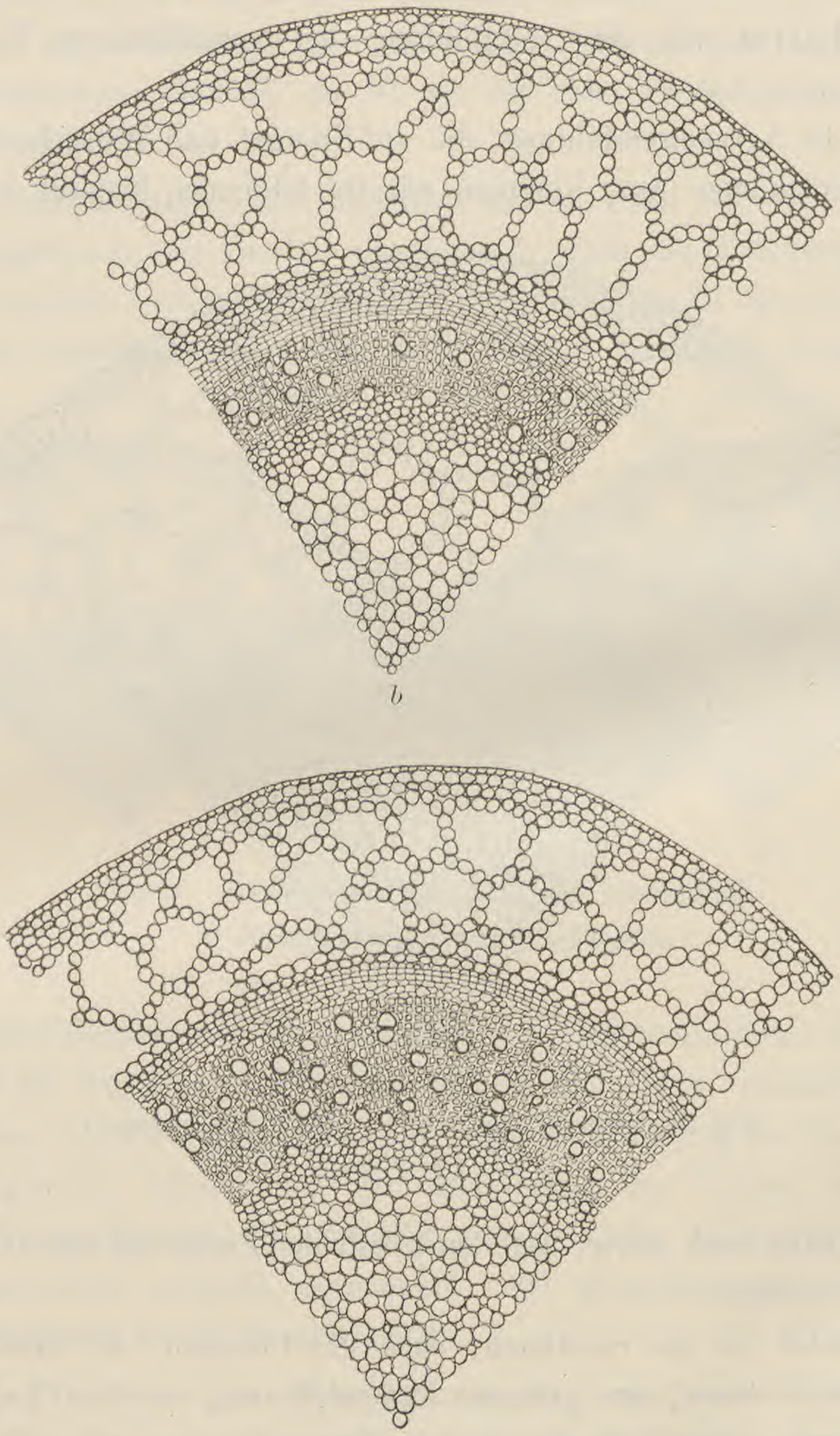
Fig. 5. Stengelquerschnitt (ältere Internodien).
*a*) Wasserpflanze.

Es bleibt noch übrig, auf den Inhalt der Zellen bei den verschiedenen Formen einzugehen.

Zunächst ist zu erwähnen, dass die Pflanzen, die trocken in der Sonne kultiviert waren, eine grössere Aufspeicherung von Stärke, besonders im Markgewebe zeigen, als die übrigen Formen.

Gerbstoff ist in allen Formen unserer Versuchspflanze anzutreffen und zwar anscheinend im Blatt und Stengel in verschiedenen Modifikationen.

Da vorwiegend Alkoholmaterial auf Gerbstoff geprüft wurde, stellte sich heraus, dass die Stengel reichlich, die Blätter wenig oder fast gar keinen



*b*

*c*

Fig. 5. Stengelquerschnitt (ältere Internodien).
*b*) Landform. *c*) Trockenbeet.

Gerbstoff enthielten; es lag hiernach die Vermutung nahe, dass dieser Unterschied auf Auslaugen des Gerbstoffes durch den Alkohol zurückzuführen sei; in der Tat zeigte das frische Material (Spätherbstform) nach Behandlung mit Kaliumbichromat Gerbstoff sowohl an den Stengeln, wie in den Blättern; nach Kochen in Wasser oder Alkohol verschwand der Gerbstoff aus den Blättern fast vollständig, während er in den Stengeln wie im ersterwähnten Alkoholmaterial leicht nachweisbar blieb.[1]) Nach den Angaben von G. Kraus (1889, p. 7), nach welchen die Blätter als die Hauptbildungsstätte des Gerbstoffes anzusehen sind, scheint die Annahme verschiedener Gerbstoffmodifikationen in verschiedenen Organen der Pflanze physiologisch wohl verständlich.

Die Verteilung des Gerbstoffes war folgende:

**Trockenbeet.** Schnitt durch einen älteren Stengelteil: Gerbstoff im Mark in jeder dritten Zelle; viele Gerbstoffhaltige Zellen im inneren und äusseren Phloem und an den Gefässen in den Zellreihen, die das innere und äussere Phloem zu vereinigen scheinen. Im Pericykel gerbstoffhaltige Zellen gruppenweise, Stärkescheide ohne Gerbstoff. Im Rindenparenchym an den Intercellularen jede dritte Zelle gerbstoffhaltig, im übrigen Rindenparenchym und in der Epidermis alle Zellen gerbstoffhaltig. In jüngeren Internodien geringer Gerbstoffgehalt in der Rinde und stellenweise im Phloem.

**Trockenpflanze** und Pflanze vom **Feuchtbeet.** Verteilung des Gerbstoffes wie bei der Pflanze vom Trockenbeet.

**Herausragende Pflanze.** So wie oben, der Niederschlag aber nicht so intensiv gefärbt; unter der Stärkescheide im Pericykel zwei Reihen gerbstoffhaltiger Zellen.

**Schattenpflanze.** Im Mark jede fünfte Zelle gerbstoffhaltig; im übrigen so wie oben.

**Wasserpflanze.** Schnitt durch einen älteren Stengelteil. Im Mark jede sechste Zelle gerbstoffhaltig; schwach braun gefärbt; im inneren und äusseren Phloem wenig Gerbstoff; Stärkescheide ohne Gerbstoff. Das Rindenparenchym und die Epidermis hat wenig oder fast gar keinen Gerbstoff.

**Winterpflanzen** zeigen wenig Gerbstoff.

---

[1]) Für die mikrochemische Untersuchung mit Kaliumbichromat ist Alkoholmaterial angenehmer zu verarbeiten als frisches Material, da in jenem die Gewebsstruktur deutlich bleibt und vor allem die Verteilung der Gerbstoffe auf verschiedene Gewebeanteile sich leicht übersehen lässt.

Es ist anzunehmen, dass bei der Untersuchung des Alkoholmaterials ein Teil des Gerbstoffes infolge der Auslaugung verloren geht, aber immerhin werden die vergleichenden an Alkoholmaterial gewonnenen Beobachtungen genügenden Aufschluss über die Verteilung des Gerbstoffes in den verschiedenen Variationsformen geben.

Wir sehen, dass die Pflanzen, die am meisten der Wirkung der Sonne und der Lufttrockenheit ausgesetzt waren, am reichlichsten Gerbstoff enthalten. Wir folgern also, dass bei intensiver $CO_2$-Assimilation auch eine intensive Gerbstoffproduktion vor sich geht. Auf die Frage über den Zusammenhang dieser beiden Prozesse können wir hier nicht eingehen, auch lassen sich aus unseren Versuchen keine bestimmten Schlüsse ziehen.[1])

Der Gehalt an Calciumoxalat, an Raphiden und Drusen ist bei den verschiedenen Formen ungleich. In seiner Untersuchung über die Wirkung der Trockenheit auf die Struktur der Pflanzen kommt Eberhardt (1903) zu dem Schlusse, dass Trockenheit die Bildung der Raphiden begünstigt. In ähnlichem Sinne äussert sich Küster (1903) über die Krystallbildung. Im Gegensatz hierzu konnte ich bei den Schattenpflanzen von Jus. rep. in Blättern und Stengeln bisweilen mehr Raphiden nachweisen als bei den Pflanzen vom Trockenbeet; Wasserpflanzen zeigten in den Blättern dieselbe Raphidenzahl wie Pflanzen vom Trockenbeet, die Zahl der Drusen war bei den Wasserpflanzen geringer. Bei den Winterpflanzen nimmt die Zahl der Drusen in den Blättern bedeutend ab. Ebensowenig konnte ich Rauwenhofs (1878) Beobachtung über das Verschwinden der Raphiden bei etiolierten Pflanzen bestätigen; vielmehr zeigte eine etiolierte Pflanze auf dem Stengelschnitte viel Raphiden, auch Rhizome von Jus. rep. sind reichlich mit Raphiden ausgestattet.

Zu allgemeinen Schlüssen über den Calciumoxalatgehalt der Blätter reichen die vorliegenden Ermittelungen nicht aus, da es nicht zulässig sein wird, aus der Zahl der raphidenführenden Zellen direkt auf den prozentualen Oxalatgehalt der Pflanzenorgane Schlüsse zu ziehen.

[1]) Diese Frage ist näher von G. Kraus (1889) studiert worden, der zur Annahme gelangt, dass die Gerbstoffbildung im Blatt mit einem Prozess zusammenhängt, der neben der Assimilation der Kohlensäure hergeht.

## III. Aerenchym. (Anatomisches).

Für einen Vergleich der verschiedenen Formen bleibt noch eine Schilderung der Wurzeln und der Aerenchymbildung der Stengel nachzuholen.

Schon Martins (1866) hat darauf aufmerksam gemacht, dass Jus. rep. und grandiflora im Wasser eigenartige Wurzeln bilden, die er „Vessies natatoires“ nannte. Schenck (1889) hat darauf hingewiesen, dass kein Grund vorliegt, diese Wurzeln als Schwimmorgane anzusprechen. Das schwammige Gewebe, das sich auf diesen Wurzeln und auf submersen Stengelteilen bildet, bezeichnet Schenck als Aerenchym.

Die äussere Form und den anatomischen Bau der verschiedenen Wurzelformen hat schon Martins beschrieben. Seine Angaben sind später von Schenck (1889), auf dessen Arbeit ich besonders verweise, ergänzt worden; gleichwohl wird es vielleicht nicht überflüssig sein, die eigenartigen Gebilde noch einmal zu untersuchen.

Bei Wasserpflanzen finden sich folgende Wurzelformen:[1])

I. Positiv geotropische Wurzelformen:

1. Dünne Wurzeln mit Nebenwurzeln;[2])
2. Wurzeln mit verhältnismässig dickem Centralzylinder, der von einem schwammigen Gewebe umgeben ist, die Epidermis ist stellenweise zerrissen; die Nebenwurzeln sind dünn und zahlreich.

---

[1]) Da keine Samenpflanzen zur Untersuchung kamen, so konnten die Hauptwurzeln nicht geprüft werden.

[2]) Ebensolche Wurzeln zeigen die Landformen.

II. Wurzeln die keinen ausgesprochenen positiven Geotropismus zeigen (d. h. nicht energisch in die Erde hineinwachsen).

3. Dünne Wurzeln mit und ohne Nebenwurzeln.
4. Wurzeln mit schwammigem Gewebe (Aerenchymhülle); die Epidermis ist manchmal zerrissen, Nebenwurzeln sind selten.

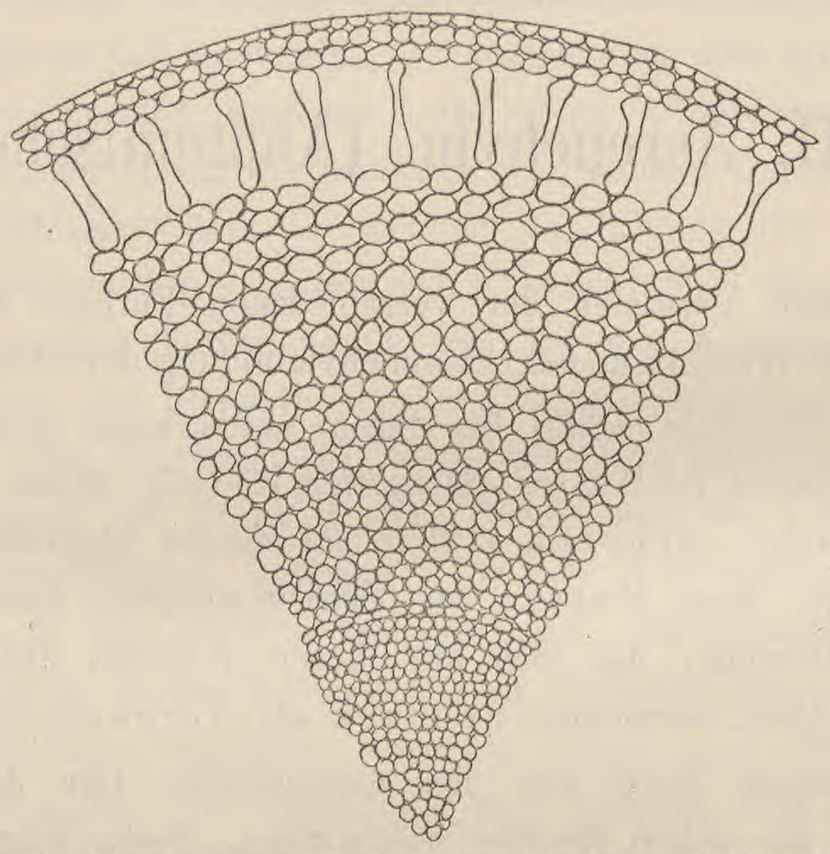


Fig. 6. Plagiotrope Wurzel von Jussieua californica.

III. Negativ geotropische Wurzeln.

5. Wurzeln, die die Wasseroberfläche erreichen oder (in seltenen Fällen) in die Luft ragen. Sie sind von einer Aerenchymhülle umgeben, Epidermis fehlt; der Centralzylinder ist sehr dünn, oft chlorophyllhaltig;[1]) diese Wurzeln entstehen auf Stengelknoten, Phizomen und auf den sub 2 genannten Wurzeln; sie sind meist unverzweigt, nur selten haben sie aerenchymartige, noch seltener normale Nebenwurzeln.

Die sub 1 genannten Wurzeln bestehen aus einem Centralzylinder mit 4—5 Gefässgruppen, aus 6—8 Rindenparenchymlagen und einer Epidermis. Die Endodermis ist bei allen Wurzelformen deutlich erkennbar,

[1]) Bei Jus. calif. und salicif. ist der Centralzylinder rot gefärbt.

mikrochemisch zeigt sie keine besonderen Reaktionen: weder Verholzung noch Verkorkung war nachweisbar.

Denselben Bau zeigen die sub 3 genannten, nur ist bei ihnen die Zahl der Rindenparenchymschichten grösser, zuweilen sind bei ihnen die Rindenparenchymzellen grösser als bei den erstgenannten Wurzelformen,

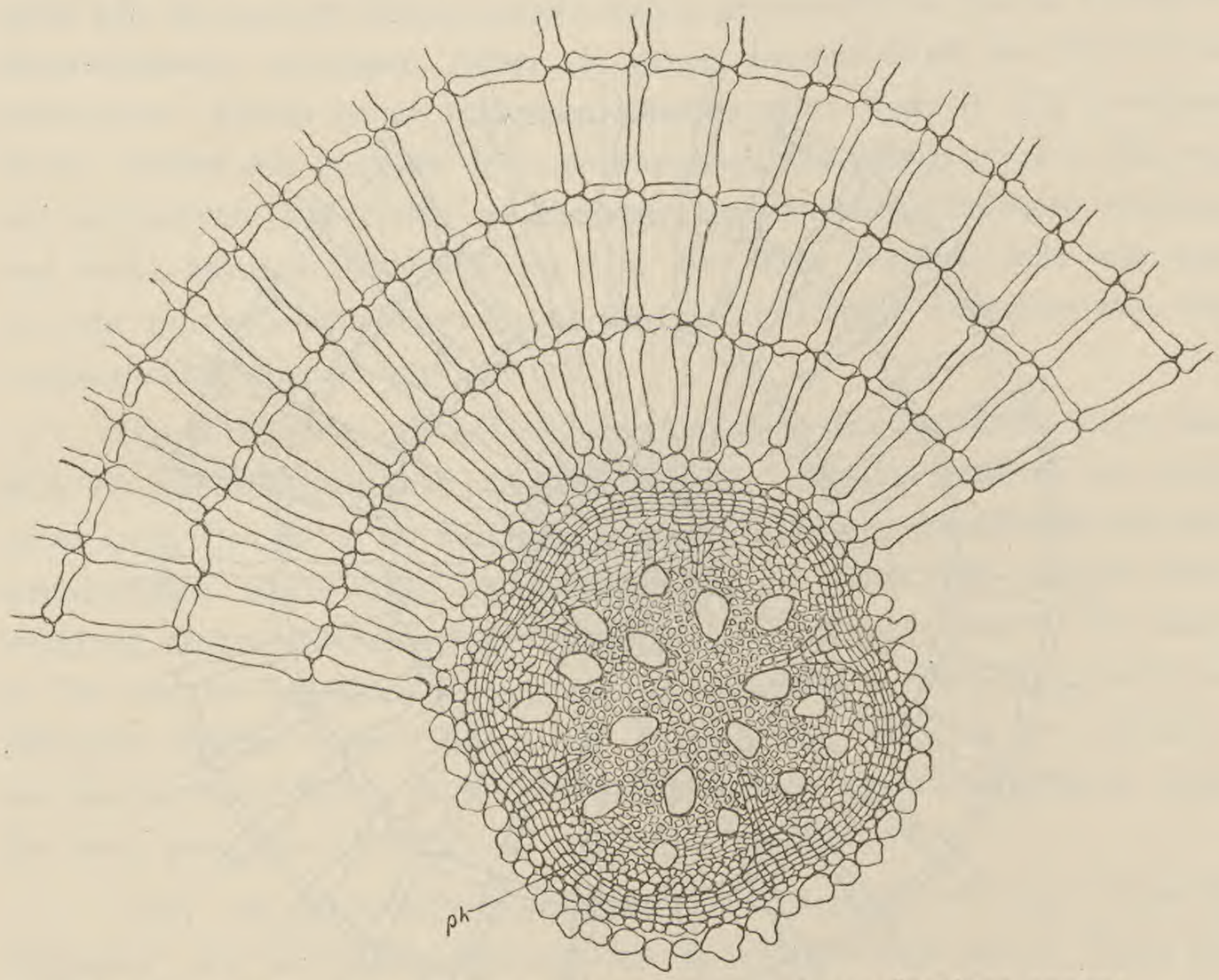



Fig. 7. Positiv geotropische Aerenchymwurzel von Jussieua repens.
*ph* = aerenchymbildendes Meristem.

sodass der Übergang der drittäussersten Rindenparenchymschicht in Aerenchym zum Ausdruck kommt (Fig. 6);[1] in manchen Wurzeln verwandeln sich mehrere Schichten in Aerenchym; echtes schwammiges Aerenchym kommt aber zunächst noch nicht zustande.

[1] Die Abbildung ist nach Jus. californica hergestellt.

Bei der Wurzelform 4 verwandelt sich fast das ganze Rindenparenchym in Aerenchym; die Epidermis ist manchmal noch gut erhalten, manchmal zeigt sie Risse; das aerenchymbildende Meristem tritt hier noch selten auf.

Einen weiteren Fortschritt in der Aerenchymbildung zeigen die sub 2 genannten Wurzeln (Fig. 7), bei welchen der Centralzylinder kräftig entwickelt ist und ein Meristem im Pericykel vorhanden ist. Die Epidermis

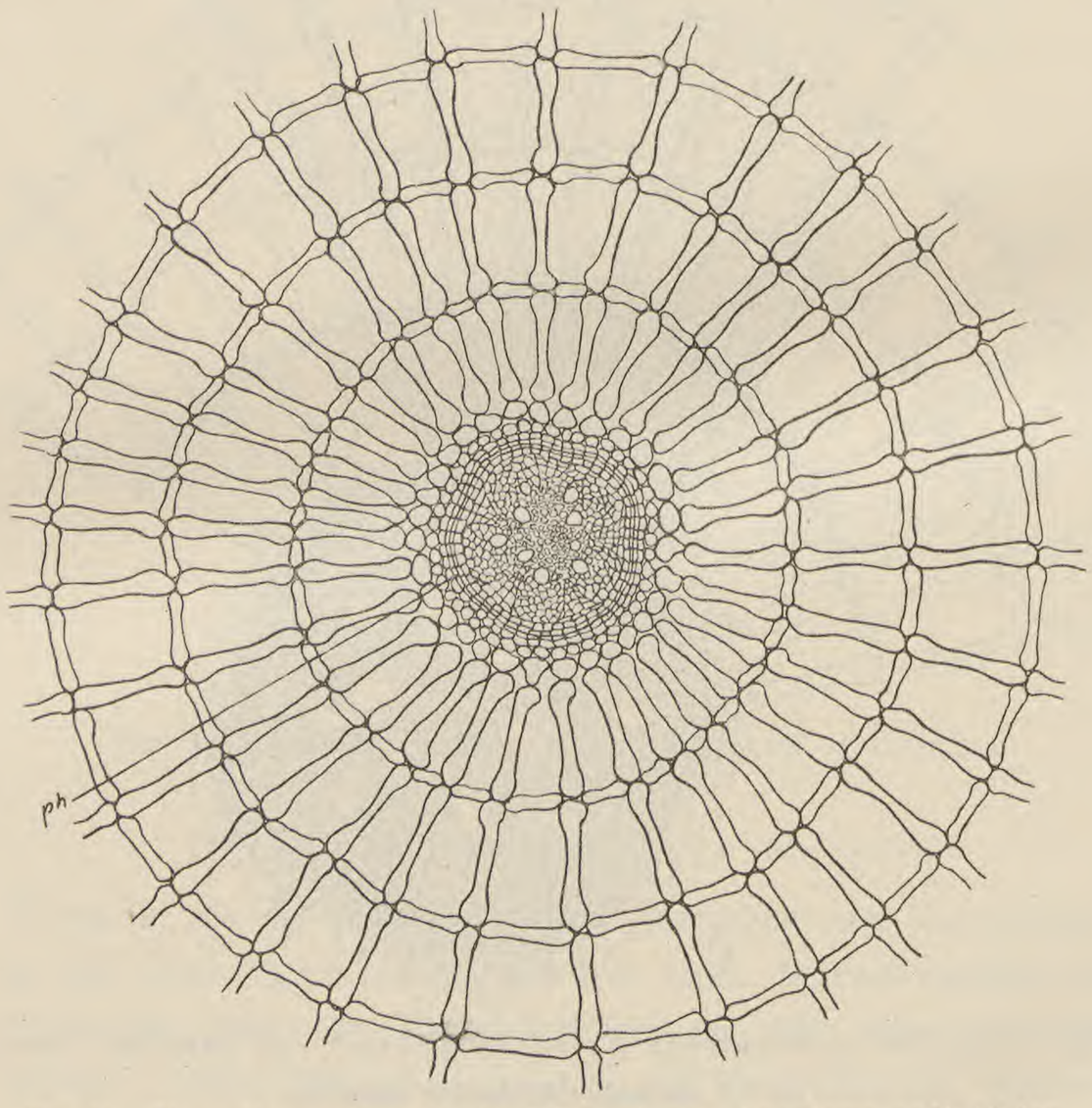



Fig. 8. Negativ geotropische Wurzel von Jussieua salicifolia.
*ph* = aerenchymbildendes Meristem.

wird zerrissen, da fast alle Schichten des Rindenparenchyms in Aerenchym sich umwandeln.

Die Struktur der negativ geotropischen Wurzeln (5) unterscheidet sich von den anderen dadurch, dass sie keine Epidermis mehr haben; ihr

Centralzylinder ist bedeutend reduziert. Meristem im Pericykel habe ich bei Jus. salicif. (Fig. 8) gefunden, bei Jus. repens nicht.[1])

Unsere Beobachtungen gestatten die Schenck'schen Angaben über Aerenchym in einigen Punkten zu ergänzen. In seiner citierten Arbeit lesen wir: „Hervorzuheben ist, dass überhaupt die mit krautigen Stengeln versehenen Jussieaen im Gegensatz zu den mit holzigen an den Stengeln meist kein Aerenchym bilden, sondern sich in gleicher Weise wie die krautigen Wasserpflanzen verhalten, indem sie grosse Intercellularen im Parenchym entwickeln. Ferner ist zu bemerken, dass an allen Wurzeln der krautigen Arten, ebenso wie auch an den aerotropischen der holzigen keine Bildung des Aerenchyms aus einem im Pericykel entstandenen Phellogen statthat, was wohl damit zusammenhängt, dass alle diese Wurzeln kein oder nur ein sehr schwaches Dickenwachstum des axilen Stranges aufweisen und von vergänglicher Existenz sind“ (S. 540).

Die beiden von mir untersuchten krautigen Jussieae-Arten zeigen das auch von Schenck gefundene Stengelaerenchym. Offenbar bildet es sich nicht unter allen Umständen an den submersen Stengelteilen, doch liessen sich die erforderlichen Bedingungen nicht näher ermitteln; eine weit stärkere Entwicklung zeigen die Stengelaerenchymbildungen bei der holzigen Jus. salic. (s. Taf. 4). Im Gegensatz zu Schenck ist zu bemerken, dass die aerenchymführenden Wurzeln (Nr. 2 und 4) bei Jus. rep. und Nr. 5 bei Jus. salicifol., wie bereits auseinander gesetzt wurde, Meristeme zu bilden imstande sind, die unter geeigneten Umständen Aerenchym produzieren.

Über die Entwicklungsgeschichte des Aerenchyms sagt Schenck folgendes: „Es erscheint auffallend, dass dasselbe Gewebe sowohl durch die Tätigkeit des Phellogens sekundär gebildet wird, als auch durch direkte Umwandlung der jungen primären Rinde entstehen kann, wie die Jussieа-Wurzeln lehren. Diese zweierlei Entwicklungsweise kommt nach meinen Erfahrungen nur in letzterer Gattung vor und erklärt sich wohl aus der regelmässigen Lagerung der zartwandigen Parenchymzellen, die völlig mit den aus dem Phellogen zunächst erzeugten noch ungestreckten Zellen über-

[1]) Möglicherweise wird auch die Wurzel von Jus. repens imstande sein, Meristem zu bilden, an meinen Objekten war jedoch keines nachweisbar.

einstimmen. Es muss somit die eingangs gegebene Charakterisierung des Aerenchyms als eines Erzeugnisses des Phellogens für obigen Fall völlig modifiziert werden, wenn man nicht das aus Rindenparenchym hervorgegangene Aerenchym besonders bezeichnen will. Von streng morphologischem Standpunkte aus müsste dies gefordert werden, von biologischem Standpunkte aus empfiehlt sich eine gemeinsame Bezeichnung. Ich möchte aber nicht die Bezeichnung Aerenchym auf alles lakunöse Parenchym der Sumpf- oder Wasserpflanzen ausgedehnt wissen“ (S. 535). Ferner auf S. 562: „Die charakteristischen Eigenschaften des Gewebes sind folgende: Die Entstehung aus den Phellogen. Nur an den Wurzeln der Jussieaen beteiligt sich auch infolge der regelmässigen radialen und koncentrischen Lagerung der dünnwandigen Parenchymzellen die Rinde an seiner Bildung u. s. w.“

Diese von Schenck beobachtete Beteiligung der Rindenparenchymzellen an der Aerenchymbildung gilt nun nicht nur für die Wurzeln, sondern auch für die aerenchymbildenden Stengel; auch bei diesen verwandeln sich, wenn auch nicht regelmässig, Rindenparenchymzellen durch Streckung in aerenchymartiges Gewebe, dabei wachsen die Zellen teils nach allen Richtungen, wie es Schenck angibt, teils vorwiegend in radialer Richtung und nehmen die charakteristische Schlauchform der Aerenchymzellen an; noch öfter als die oberen Rindenparenchymschichten sehen wir die Zellen der Stärkescheide in angeführtem Sinne sich verwandeln; der grösste Teil der Aerenchymzellen wird jedoch auch in diesen Fällen durch die Tätigkeit des Meristems erzeugt; es ist also die Aerenchymbildung entwicklungsgeschichtlich an verschiedenen Exemplaren auf ganz verschiedenes Gewebematerial zurückzuführen; dabei darf nicht unbeachtet bleiben, dass das vom primären Stengelgewebe abstammende Aerenchym sich von demjenigen, welche das Meristem liefert, durch die regellose Anordnung der Zellen unterscheidet, wie wir es nach Schenck bei aus dem Meristem stammenden Aerenchym von Epilobium hirsutum, Lycopus europaeus etc. finden (Fig. 9).

Einer einseitigen Begründung des Begriffes der Aerenchymgewebe nach ausschliesslich morphologischen Gesichtspunkten steht also nicht nur die Verwandlung der Rindenparenchymzellen der Wurzeln, sondern auch die der Stengel-

zellen im Wege; bei näherer Untersuchung wird sich vielleicht zeigen, dass auch bei anderen aerenchymbildenden Pflanzen Rindenparenchymzellen an der Bildung des Aerenchyms teilnehmen; es wird dann jeder Grund wegfallen, diese Gewebebildungen und die von Küster (1903, p. 80) näher untersuchten Rindenwucherungen[1]) von einander zu trennen, vorausgesetzt, dass die Entstehung dieser Gewebe nicht von verschiedenen Faktoren bedingt ist; — von der Entstehungsursache wird in folgendem Kapitel zu sprechen sein.

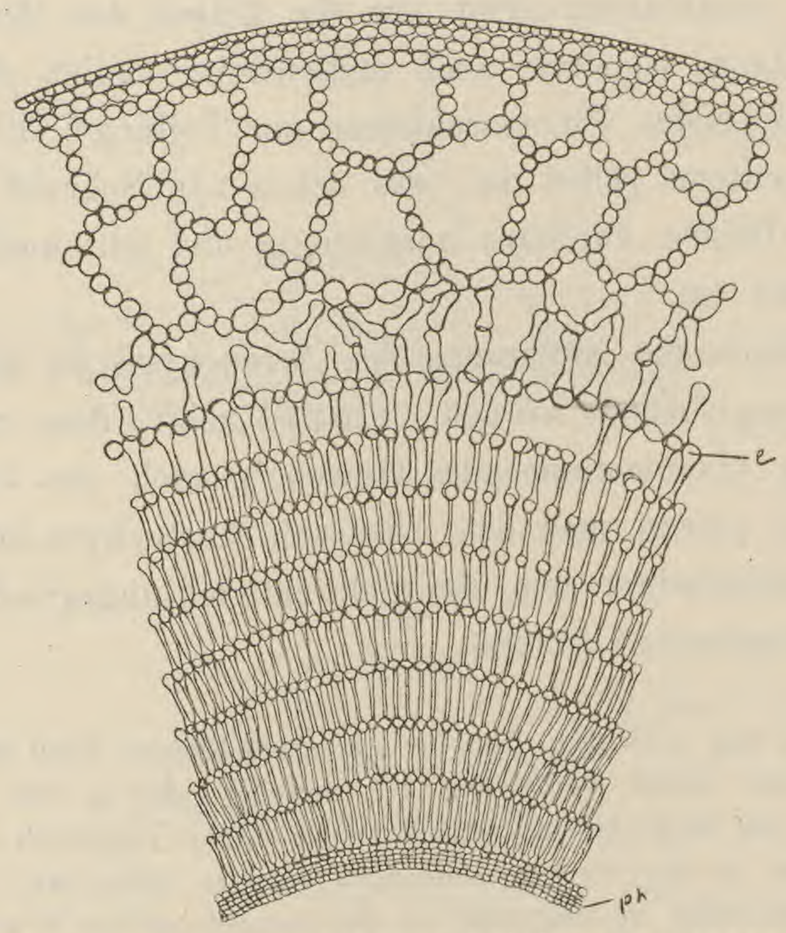



Fig. 9. Aerenchymbildung bei Jussieua repens.
Stengelquerschnitt. Aerenchymartige Zellen aus Rindenparenchym gebildet.
*ph* = Meristem. *e* = Stärkescheide.

Meiner Ansicht nach ist für die einheitliche Zusammenfassung des Aerenchymgewebes in erster Linie seine Bildungsweise in Betracht zu ziehen, die vornehmlich durch Streckung der Zellen in bestimmter Richtung verbunden mit einer Auflockerung des Gewebezusammenhanges charakterisiert

[1]) Auch die Gewebe von Artemisia vulgaris (Schenck p. 568), bei deren Entstehung Teilungen im Rindenparenchym erfolgen, bringen nichts prinzipiell neues. (Über Teilungen in der Stärkescheide vgl. unten.)

wird;[1]) wir haben es hier mit einer Hypertrophie, die sich gelegentlich mit hyperplastischen Erscheinungen (d. h. mit Zellenteilungen) im Sinne Küsters kombinieren kann, zu tun. In den Wurzeln sind es regelmässig die Rindenparenchym- und die aus einem sekundären Meristem entstandenen Zellen, bei den Stengeln vorwiegend die Produkte des Meristems, die das Aerenchym bilden; doch nehmen bei letzterem gelegentlich auch die Zellen der Stärkescheide und andere Parenchymzellen an der Aerenchymbildung teil. Die Bedingungen, welche die Streckung der Zellen der obengenannten Gewebearten anregen, veranlassen nicht nur die Zellen des Meristems zu einer lebhafteren Teilung, sondern auch stellenweise Zellen der Stärkescheide und der tiefer liegenden Phloemschichten zur Teilung[2]) (Fig. 10). Die Entstehung des Meristems selbst ist, wie schon von Schenck bemerkt worden ist, von jenen Reizen durchaus unabhängig und tritt auch an trocken gehaltenen Pflanzen ein.

Die Schencksche Auffassung des Aerenchyms ist übrigens auch von Göbel bereits angefochten worden. Göbel zeigt, dass ein biologisch mit dem Aerenchym übereinstimmendes Gewebe[3]) auch aus dem Holzcambium entstehen kann; „wenn man den Ausdruck Aerenchym anwenden will, so so wird es zweckmässiger sein, ihn nicht entwicklungsgeschichtlich, sondern biologisch zu begrenzen“ (S. 286).

---

[1]) Erwähnt mag noch sein, dass die Aerenchymbildung Hand in Hand mit lebhafter Xylemproduktion und starker Verholzung der Gewebe geht: in den aerenchymbildenden Stengeln (Jus. rep. und salic.) ist das sekundäre Holz stärker entwickelt als bei den arenchymfreien Stengeln, und in den aerenchymbildenden Wurzeln finden wir das centrale markige Gewebe im Centralzylinder im Gegensatz zu den aerenchymfreien Wurzeln verholzt; selbst bei den negativ geotropischen Wurzeln findet in ihren zarten axilen Strang diese Verholzung statt. Übrigens gibt auch Küster (1903, p. 81) für „aerenchymbildende“ Ribeszweige lebhafte Xylemproduktion an, die aber nach seiner Auffassung mit der gesteigerten Gewebeproduktion nach Verwundung gleichzustellen sein dürfte.

[2]) Ähnliches erwähnt Küster (1903 p. 82 Anmerkung).

[3]) Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass Haberlandt (1904) über dieses sogenannte Schwimmholz sich folgendermassen äussert: „Nach Ernst sind die grossen dünnwandigen prismatischen Zellen der Stammanschwellung von Aeschynomene ‘bei inundierten Stämmen stets mit Wasser gefüllt, bei trockengelegten Exemplaren leer.’ Ist dies richtig, so kann Göbels Annahme, dass die sog. Schwimmhölzer der Hauptsache nach aus einem biologisch dem Aerenchym gleichwertigen Gewebe bestehen, nicht zutreffend sein“ (p. 606 Anm. 24 zu Abschnitt XIV).

Zu besprechen bleibt noch die chemische Zusammensetzung der Aerenchymmembranen. Nach Schenck gibt das Aerenchym (von Jus. peruv.) nach Behandlung mit Jodjodkalium und Schwefelsäure eine blauviolette Färbung; ich habe an dem von mir untersuchten Material mit Jodjodkalium

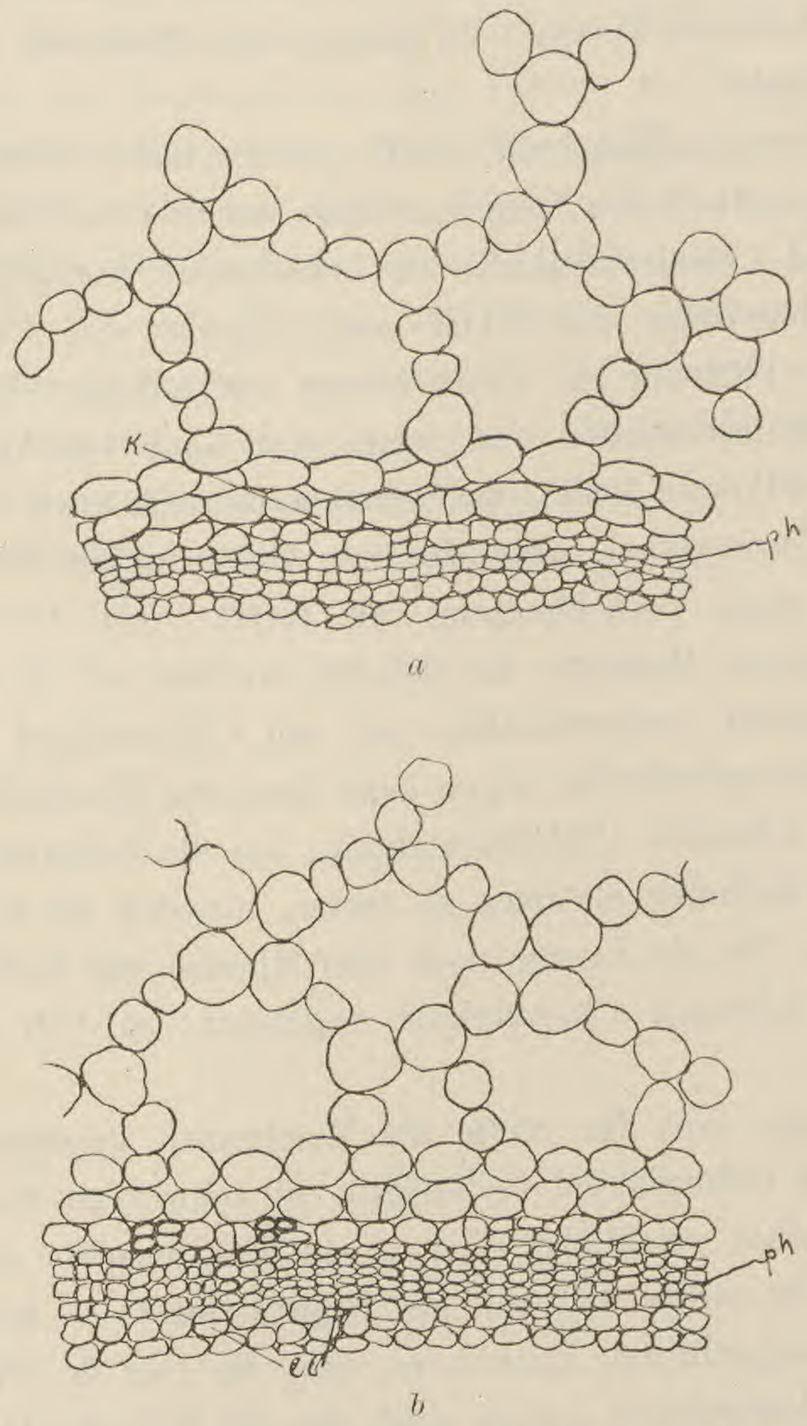



Fig. 10. Teilung von Stärkescheidezellen und Phloemzellen bei der Aerenchymbildung.

Stengelquerschnitt oberhalb der Stelle, wo typisches Aerenchym ausgebildet war.

*a*) *ph* = Meristem. *k* = Zellenteilung in der Stärkescheide.
*b*) *ph* = Meristem. *e* = Zellenteilung an Phloem.

und schwach verdünnter Schwefelsäure[1]) nur unreine Farbtöne erzielen können. Mit Chlorzinkjod habe ich nur Gelbfärbung erhalten. Bei anderen Stengelgeweben (Mark und Rindenparenchym) fällt die Blaufärbung nach Chlorzinkjodbehandlung sehr ungleich aus. Anscheinend sind irgend welche Stoffe in den Membranen vorhanden, welche die normale Cellulosefärbung nicht zustande kommen lassen. Es gelang mir, Methoden zu finden, diese Stoffe zu beseitigen.

Nach Vorbehandlung mit KOH (in der Kälte oder durch Kochen) gelingt es, an gewöhnlichen Stengelgeweben der drei untersuchten Jus.-Arten mit Chlorzinkjod Cellulosereaktion zu bekommen; Aerenchym nimmt nach gleicher Vorbehandlung mit KOH nach Zusatz von Chlorzinkjod eine schmutzig blaue Färbung an. Noch besser tritt auf gewöhnlichem Stengelgewebe die Cellulosereaktion ein, wenn man nach van Wisselingh (1898) die Schnitte in Glycerin kocht; das Aerenchym zeigt auch dann noch keine deutliche Cellulosereaktion, aber das mit Chlorzinkjod erzielte Blau war intensiver, als nach Vorbehandlung mit KOH. Am besten zum Ziele führte eine folgende Methode: die Schnitte wurden auf 24 Stunden in Eau de Javelle gebracht, ausgewaschen und mit Chlorzinkjod behandelt. Die gewöhnlichen Stengelschnitte zeigen dann deutliche Blaufärbung, das Aerenchym nur eine schwache Cellulosereaktion; um die Reaktion mit Chlorzinkjod an diesem deutlicher eintreten zu lassen, mussten die Schnitte nach der Einwirkung des Eau de Javelle noch fünf Minuten mit Kalilauge behandelt werden. Wird hiernach Chlorzinkjod zugesetzt, so tritt deutliche Blaufärbung ein. —

Die Frage, was für Stoffe die Membranen imprägnieren und ihre Blaufärbung mit Chlorzinkjod verhindern, ist schwer zu beantworten. Für die Annahme, dass reichlicher Gehalt an Pektinstoffen vorliegt, — die Aerenchymgewebe färben sich gut mit Rutheniumrot — sprechen die nach v. Wisselingh ausgeführten Reaktionen und die Eau de Javelle und Kalilaugeprobe.[2]) Andererseits geben auch die mit Eau de Javelle und KOH

[1]) Das Präparat wurde in Jodjodkalium unter das Deckgläschen gebracht und einige Tropfen koncentrierter Schwefelsäure wurden zugesetzt.

[2]) Horn (1904) löste Pektinstoffe mit Eau de Javelle und Kalilauge aus Pilzmembranen.

behandelten Schnitte deutliche Rutheniumrotfärbung. Möglicherweise sind es Gerbstoffe, welche die Reaktion verhindern; bei Besprechung der Gerbstoffverteilung habe ich darauf hingewiesen, dass bei vielen Pflanzen unter der Stärkescheide im Pericykel fast ununterbrochene Reihen gerbstoffhaltiger Zellen liegen; aus diesen Zellen wird später das Meristem gebildet; dieses aber, wie auch das Aerenchym, enthält keinen Gerbstoff mehr. Es wäre vorstellbar, dass der Gerbstoff aus dem Plasma als imprägnierender Stoff in die Zellenmembran übergeführt wird. Einen Fall, in welchem Gerbstoff die Cellulosereaktion verhindert, führen Scott und Wager in ihrer Arbeit über das Aerenchym bei Sesbania aculeata (1888) an: „The walls of the great majority of the cells give the reactions of unaltered cellulose. The tannin-sacs, which occur here, as well as in the primary cortex, form the only exception to this rule; their walls appear to be slightly cuticularised.“ — Eine bestimmte Antwort auf unsere Frage liess sich mit den üblichen mikrochemischen Methoden nicht gewinnen.

# IV. Aerenchym. (Physiologisches.)

Nachdem wir die Entwickelungsgeschichte und die histologischen Eigentümlichkeiten des Aerenchyms behandelt haben, müssen wir auf die Bedingungen seiner Bildung und auf seine Funktionen eingehen.

Wir sprachen vorhin von der Entstehung aufwärts wachsender Wurzeln. Über ihr „Aufwärtswachsen“ äusserst sich Schenck im Anschluss an die Beschreibung der Wurzeln von Jus. peruviana; infolge des zarten Baues des axilen Stranges sind nach Schenck „diese Wurzeln ausserordentlich schlaff und werden nur passiv durch den Zug der in ihnen enthaltenen Luft nach oben in vertikaler Richtung im Wasser gehalten.“ Dennoch möchte sie Schenck als „areotropische Wurzeln“ bezeichnen, da sie durch den Ort ihrer Entstehung und ihre ganze Bildung darauf hinzielen, ihre Spitze zur Wasseroberfläche gelangen zu lassen“ (s. 534).

Bei der Besprechung der Versuche von Jost (1887) an den in Kübeln kultivierten Palmen, bei welchen ebenfalls aufwärtswachsende Wurzeln zur Beobachtung kamen, für welchen Jost den Aerotropismus in Anspruch nimmt, wendet Wieler (1898) folgendes ein:[1]) „Es ist bekannt, dass in der Erde, welche dauernd mit Wasser durchtränkt ist, Veränderungen eintreten. Nun wäre es möglich, dass in unserem Falle Stoffe entstehen, welche auf das Wachstum der Wurzeln derartig einwirken, dass sie von diesen Stoffen hinwegwachsen. Dann würden die aus dem Kübel hinausgewachsenen Wurzeln auf einen negativen chemischen Reiz reagieren“ (p. 506). Weiter sagt Wieler, dass auch die Nässe des Substrates für die Aufwärtsrichtung der Wurzeln bestimmend sein kann. Prüfen wir nun, ob das Wachstum unserer J. Wurzeln durch Hydrotropismus oder durch chemische Reize in seiner Richtung bestimmt wird, so kommen wir zu dem Resultat, dass weder

[1]) Da meine Versuche denjenigen von Jost ähnlich sind, so führe ich diese Einwendungen an.

die eine noch die andere Möglichkeit hier zutrifft. Um irgend welche chemische Reize, an die Wieler denkt und die vielleicht an Topfexemplaren und Freilandpflanzen im Spiel sein konnten, auszuschliessen, wurden Stecklinge und ganze Topfpffanzen von Erde befreit und in Wasser weiter kultiviert. Die Wurzeln wuchsen gleichwohl aufrecht. Chemische Reize, die vom durchtränkten Boden ausgehen, können also für das Wachstum unserer Objekte nicht massgebend sein. Was die andere von Wieler geäusserte Vermutung betrifft, dass der Hydrotropismus die Aufwärtsrichtung der Wurzeln verursacht, so ist wohl die Möglichkeit zuzugeben, dass die Feuchtigkeit die Bildung der Aerenchymwurzeln bedinge, die Richtung ihres Wachstums wird aber nicht durch sie bestimmt, da sich sonst nicht erklären liesse, dass die Wurzeln aus dem Wasser in die relativ trockene Luft wachsen.[1]) Es ist wohl ein gewisser Feuchtigkeitsgrad für die Entwickelung dieser Wurzeln überhaupt unerlässlich, der eigentliche Reiz, der ihre Wachstumsrichtung bestimmt, wird aber anderwärts zu suchen sein. Der Auftrieb von dem Schenck spricht, kann ebenfalls nicht als Ursache der Aufwärtsrichtung angesehen werden: hiergegen sprechen schon Beobachtungen in der freien Natur. Neben Wurzeln, die bis an die Wasseroberfläche vertikal und dann wagerecht weiter wachsen, finden sich solche, deren Spitzen aus dem Wasser hervorragen — allerdings nur dann, wenn die Luft über dem Wasser einigermassen feucht ist. Ferner sehen wir ebensolche Wurzeln auf unterirdischen Organen (Rhizomen, Stengelknoten) entstehen und gleichwohl aufwärts aus der Erde vorwachsen, noch bevor der passive Zug auf sie wirken kann. Werden geeignete Topfkulturen unter Wasser horizontal gelegt, so richten sich ihre Wurzeln nicht in ihrer ganzen Länge auf — was geschehen müsste, wenn der passive Zug die Richtung der Wurzeln bestimmte; — sondern es tritt nur an der Spitze eine Krümmung ein und die Wurzel setzt in vertikaler Richtung ihr Wachstum fort.

Nach dem Gesagten sind wir genötigt, die Aufwärtsrichtung als irgend eine Reizwirkung zu betrachten; — dabei kann es sich nur um aerotropische oder negativ geotropische Erscheinungen handeln. Zur Prüfung der Frage wurden folgende Versuche angestellt:

[1]) Aus diesem Grunde schliesst auch Jost (1887 p. 619) den Hydrotropismus als Ursache der Aufwärtsrichtung aus.

1. Ein Zweig mit Aerenchymwurzeln, von welchen einige ihrer Aerenchymschichten künstlich beraubt worden waren, wurde unter einer Glocke im Wasser schwimmend kultiviert, so dass die Wurzeln horizontal lagen, nach einigen Tagen zeigte sich an den Spitzen sämtlicher Wurzeln deutliche Aufwärtskrümmung.

2. Eine Topfpflanze mit Aerenchymwurzeln wurde aus dem Wasser genommen, und unter eine Glocke in feuchte Luft gebracht, viele Wurzeln behielten ihre senkrechte Stellung und wuchsen aufrecht weiter; einige Wurzeln, deren Spitzen in horizontaler Lage fixiert worden waren, zeigten nach einigen Tagen Aufwärtskrümmung. Ebenso verhielten sich die Pflanzen, wenn ihre Wurzeln der ganzen Länge nach auf feuchtem Filtrierpapier belassen wurden.

3. Eine Topfpflanze mit Aerenchymwurzeln wurde in feuchter Luft horizontal gelegt, so dass die Wurzeln teils mit, teils ohne Stütze sich horizontal hielten, ohne mit Wasser in Berührung zu kommen. Nach einigen Tagen krümmten sich die Spitzen nach oben.

4. Eine Topfpflanze wurde unter eine Glocke in feuchter Luft in inverse Stellung gebracht, so dass die Spitzen nach unten gerichtet waren, mit dem Wasser, das die Glocke feucht halten sollte, kamen die Wurzeln nirgends in Berührung. Die Wurzeln wuchsen nicht nach unten weiter, sondern krümmten sich nach oben. Weiter ist zu bemerken, dass die Wurzeln jedesmal, wenn man sie — durch Überstülpen eines Becherglases über die betreffende Wurzel oder mittels einer Glocke, die über den Topf, der in Wasser steht, gebracht wird — über dem Wasser in einen feuchten Raum wachsen lässt, ihr Wachstum in vertikaler Richtung fortsetzen.

Aus allen angeführten Versuchen, besonders aber aus den Versuchen 3—4 glaube ich schliessen zu können, dass wir es bei unseren Wurzeln mit negativ geotropischen Organen zu tun haben; es ist nicht ausgeschlossen, dass die Wurzeln auch aerotropischer Bewegung fähig sind; sie kommen aber nicht besonders zum Ausdruck, wenn die Wurzeln in ihrer Wachstumsrichtung dem negativen Geotropismus folgen.

Die Aerenchymwurzeln,[1]) die in der freien Natur selten Nebenwurzeln

[1]) In diesem und im folgenden Kapitel gebrauchen wir der Kürze wegen statt negativ-geotropische oder aufrechtwachsende Aerenchymwurzeln einfach Aerenchymwurzeln.

zeigen, sind imstande Nebenwurzeln zu bilden, solche mit oder ohne Aerenchym. Wurde eine Pflanze mit Aerenchymwurzeln in 0,2% Knopsche Nährlösung gebracht, so zeigten sich an dieser nach einigen Wochen in vielen Fällen stark verzweigte Nebenwurzeln; die Spitzen der Aerenchymwurzeln waren alsdann abgestorben. Weiterhin wurde eine Pflanze mit jungen Aerenchymwurzeln völlig unter Wasser gesetzt; die Aerenchymhülle ging unter diesen Umständen allmählich verloren; eine solche entblösste Wurzel wurde in 0,2% Knopsche Nährlösung gebracht; sie verlängerte sich im Verlauf einiger Wochen nicht, bildete aber viel gewöhnliche Nebenwurzeln. Eine ebensolche entblösste Wurzel wuchs auf feuchtem Filtrierpapier unter einer Glocke an der Spitze weiter: die neuen Teile waren von Aerenchym umkleidet. Aerenchymwurzeln, die keine Nebenwurzeln haben, lassen sich leicht zur Bildung von solchen bringen, indem man ihnen einen Teil der Aerenchymhülle, ohne den Zentralzylinder zu verletzen, abnimmt und sie unter gewöhnlichen Bedingungen unter Wasser weiterwachsen lässt; die entstehenden Nebenwurzeln sind in diesem Falle von einer Aerenchymhülle umkleidet.

In der freien Natur treten die aerotropischen oder besser die negativgeotropischen Wurzeln, wie schon Göbel (1893) bemerkt, erst auf, wenn die Pflanze ein gewisses Alter erreicht hat. Zu gleichem Ergebnis führten meine Stecklingskulturen. Stecklinge von Land- und Wasserpflanzen bilden, wenn man sie in Wasser kultiviert, nach mehr oder minder langer Zeit, unabhängig von dem Druck der auf ihnen lastenden Wassersäule, Aerenchymwurzeln, die auf Rhizomen oder an älteren Stengelknoten — nur ganz ausnahmsweise auf jüngeren Teilen — entstehen. Gut beblätterte Pflanzen bilden ihre Aerenchymwurzeln eher als dürftig beblätterte. — Nachdem hieraus zu folgern ist, dass ein gewisses Alter der Pflanzen und Gegenwart von Wasser zur Entstehung von Aerenchymwurzeln notwendig ist, wird nun der Einfluss einiger anderen Faktoren auf die Aerenchymbildung zu prüfen sein.

Die genannten Versuche mit Jus. rep. sind bei intensiver Belichtung ausgeführt worden. Schatten- und Gewächshauskulturen im Sommer, Herbstkulturen im Victoriahaus und Dunkelexemplare zeigten keine aufwärtswachsenden Aerenchymwurzeln; nur die im Lichte angelegten Wurzeln setzten auch bei schwacher Belichtung ihr Wachstum fort. Es lag hiernach die Frage nahe, in wie weit das Licht bei der Entstehung der Aerenchym-

wurzeln als Reiz in Betracht kommt. Ein Topf mit einer gut beblätterten Landpflanze wurde in einen Wasserkübel gebracht, der mit schwarzem Papier so bedeckt war, dass die Blätter und ein Teil der Pflanze herausragten, der untere Teil der Pflanze aber verdunkelt blieb; auch hier bildeten sich nach 6 Tagen gut entwickelte Aerenchymwurzeln;[1]) eine direkte Lichtwirkung liegt also hier nicht vor, das Licht wirkt vielmehr nur indirekt, indem die Bildung der Aerenchymwurzeln anscheinend vom Ernährungszustand der Pflanze abhängig ist. Hierdurch wird die vorhin angeführte Beobachtung — dass gut beblätterte Pflanzen in Wasser bei intensiver Belichtung schon sehr schnell Aerenchymwurzeln bilden — verständlich. Neben der guten Ernährung kommt auch die geförderte Luftversorgung bei stark beblätterten Pflanzen für die Bildung der Aerenchymwurzeln in Betracht. Dass die Luftversorgung der Wurzeln hauptsächlich von den Spaltöffnungen der Blätter ausgeht, wird dadurch wahrscheinlich, das an untergetauchten Pflanzen die Aerenchymwurzeln ihre Aerenchymhülle abstossen; völlig untergetauchte Pflanzen bilden niemals Aerenchymwurzeln. In diesem Falle wird das Ausbleiben ihrer Bildung ebenso sehr auf ungenügende Luftversorgung wie auf herabgesetzte Ernährung[2]) zurückzuführen sein.

Fassen wir alles Obenstehende kurz zusammen, so können wir sagen, dass für die Entstehung der Aerenchymwurzeln bei Jus. rep. folgende Bedingungen in Betracht kommen: Wasser, — vorausgesetzt dass die Pflanze nicht völlig darin untergetaucht ist, verhältnissmässig gute Ernährung und ausreichende Durchlüftung, die letztgenannten beiden Faktoren sind dann erfüllt, wenn die Pflanzen einer intensiven Lichtwirkung ausgesetzt sind, da nur unter diesen Bedingungen Pflanzen ein gut entwickeltes Assimilation- und Durchlüftungsgewebe ausbilden (vergl. oben Kap. II). Die Aerenchymwurzeln von Jus. salicifolia machen geringere Lichtansprüche als Jus. rep., ich habe bei dieser Pflanze, nachdem sie in Wasser gebracht war, Aerenchymwurzeln im Sommer und im Spätherbst im Gewächshaus entstehen sehen im Winter keine. Es wäre vorstellbar, dass auch bei dieser Pflanze die

---

[1]) Da auch diese Wurzeln nach oben wuchsen, ist klar, dass ihre Wachstumsrichtung nicht auf einen heliotropischen Reiz zurückzuführen ist.

[2]) Die Blätter der untergetauchten Pflanze zeigten nach der Sachs'schen Jodprobe keine Stärke.

Bildung der Aerenchymwurzeln mit der Entwicklung des Assimilations- und Durchlüftungssystems im Zusammenhang steht, nur genügt bei dieser Pflanze schon eine schwächere Belichtung zu genügender Ausbildung der erforderlichen Gewebsformen.

Es erübrigen sich noch einige Worte über die Entstehung des Stengelaerenchyms. Bei Jus. rep. und calif. habe ich diese Gewebsform nur bei Kulturen vom Warm- und Gartenbassin beobachtet; die Stellen, an welchen sich Aerenchym gebildet hatte, waren völlig untergetaucht; während bei Jus. salic. die submersen Stengelteile in ihrer ganzen Ausdehnung und sogar die untersten in Luft befindlichen Abschnitte sich mit Aerenchym bekleiden (vgl. Göbel 1893), findet sich bei Jus. rep. und calif. das gleiche Gewebe nur stellenweise an den submersen Teilen.

Bei einer intensiven Belichtung geht die Aerenchymbildung bei Jus. salic. besonders intensiv vor sich. Wird das Stengelaerenchym bei dieser Pflanze künstlich abgelöst, so erfolgt regenerative Neubildung des Gewebes,[1]) vorausgesetzt, dass das Meristem erhalten geblieben ist. Völlig untergetauchte Pflanzen sind zur Bildung von Stengelaerenchym nicht befähigt und sind ebensowenig im stande, ihr Aerenchym zu regenerieren.

Wie wir gesehen haben, entsteht Aerenchym bei den obengenannten Jus.-Arten jedesmal, wenn die Pflanzen in Wasser gebracht werden; nur ist die Pflanze nicht ganz untergetaucht zu halten, ein Teil der Pflanze muss mit der äusseren Luft in Berührung bleiben: aber auch in diesem Falle entsteht Aerenchym nicht unter allen Umständen; bei Jus. rep. ist eine nicht geringe Lichtintensität notwendig, während Jus. sal. schon bei schwächerer Belichtung Aerenchym bildet: durch starke Belichtung wird gute Ernährung und intensive Luftversorgung der Pflanze gesichert. Ob der eine oder andere oder beide Punkte für die Aerenchymbildung von besonderer Bedeutung sind, lässt sich nicht mit Sicherheit angeben. Über die Natur des Reizes, der die Pflanzen zur Aerenchymbildung anregt, ist mit dem hier Ermittelten zunächst aber noch nichts gesagt. Nach Schenck ist es wenig wahrscheinlich, dass die blosse Berührung der Epidermis mit dem

[1]) Man vergleiche hierzu die Beobachtungen Tittmans (1897) über Regeneration der Hautgewebe.

Wasser als Reizursache in Betracht kommt, viel eher wäre es zu vermuten, dass der Sauerstoffmangel der inneren Gewebe das Plasma der Phellogenzellen zu Aerenchymerzeugung veranlasst. Dieser Vermutung ist entgegen zu halten, dass beispielsweise die Aerenchymbildung gerade in solchen Fällen unterbleibt, wo der Sauerstoffmangel und die Atemnot am ausgesprochensten sind: die untergetauchten Pflanzen sind nicht nur ausser stande, Aerenchym zu bilden, sondern können es auch nicht regenerieren, falls sie seiner durch künstliche Eingriffe beraubt sind. Andererseits kam ein Fall zur Beobachtung, bei welchem bei offenbar sehr reichlicher Sauerstoffversorgung Aerenchym gebildet wurde. Eine Aerenchymwurzel, die nach Untertauchen der ganzen Pflanze ihren Aerenchymmantel eingebüsst hat, bildete auf feuchtem Filtrierpapier an der Luft an ihrer Spitze Aerenchymgewebe.[1])

Zur Anlage der Aerenchymwurzeln ist die Berührung mit Wasser unerlässlich, die unter Wasser entstandenen Anlagen können sich auch in feuchter Luft zu typischen Aerenchymwurzeln ausbilden.

Wenn Küster (1903) die Entstehung der Lentizellen und Rindenwucherungen ursächlich nicht auf den Sauerstoffmangel zurückführt, da die von ihm studierten Gewebe bei vielen Pflanzen bei ausgesprochener Atemnot ungebildet bleiben, so scheinen seine Bedenken auch für unseren Fall berechtigt zu sein.

Die Übereinstimmung zwischen Küsters hyperhydrischen Geweben an Ribessteckligen etc. und unserem Jussieua Aerenchym beruht hiernach nicht nur auf den von Küster hervorgehobenen gemeinsamen histologischen Eigentümlichkeiten, sondern auch auf ihrem reizphysiologischen Verhalten, das er im Anschluss an Schencks Angaben beurteilt und zur Nachprüfung empfiehlt.

Als eigentliche Ursache der Entstehung des Aerenchyms muss die Berührung mit Wasser angesehen werden; wie im einzelnen die Wirkung des Wassers zu stande kommt, was für Reize hier dabei im Spiele sind, darüber lässt sich einstweilen kein sicheres Urteil abgeben. Nur gut ernährte (Lichtgenuss, Durchlüftung etc.) Exemplare sind hier anscheinend

[1]) Bei allen Versuchen blieben selbstverständlich die Aerenchymwurzeln in Verbindung mit den sie tragenden Stengeln.

im stande, auf den von Wasser ausgehenden Reiz mit Aerenchymbildung zu reagieren.

Über die Funktion des Aerenchyms äussert sich Westermaier (1900), der die Aerenchymwurzeln als Atmungsorgane auffasst und sie Pneumatophoren nennt, wie folgt: „Die untergetauchten, mit einem Aerenchymmantel umhüllten und direkt mit dem Aerenchym ans Wasser grenzenden Pneumatophoren sind hiernach nicht bloss Ein- und Austrittsstelle der Inspirations- und Expirationsluft, sondern sind die Atmungsorgane selbst, indem sie mit ihrer voluminösen schwammigen Hülle dem Wasser Sauerstoff entziehen“ (p. 47). Ich kann mich Westermaiers Ansicht nicht völlig anschliessen; die Versuche mit untergetauchten Pflanzen machen es eher wahrscheinlich, dass die Luft der Aerenchymwurzeln doch nur zum geringsten Teil durch diese Organe selbst dem Wasser entnommen wird; sonst wäre nicht einzusehen, warum Aerenchymwurzeln völlig untergetauchter Pflanzen ihre Aerenchymhülle verlieren, eine Erscheinung, die vermutlich eine Folge von Atemnot ist; vielmehr wird den Aerenchymwurzeln ihr Luftgehalt von seiten der Stomata der Sprossteile zugeführt.

Bei Beurteilung der Erscheinung vom teleologischen Standpunkt aus wird es befremdend erscheinen müssen, dass die Pflanze da, wo es für sie am zweckmässigsten wäre, Atmungsorgane zu bilden, d. h. an völlig untergetauchten Exemplaren, kein Aerenchym zu bilden vermag, ja sogar das schon vorhandene wieder verfallen lässt.

Bedenken gegen die teleologische Deutung der Aerenchymgewebe im Sinne Westermaiers hat auch Wieler (1898) bereits geäussert.

# V. Zusammenfassung.

Die wichtigsten Ergebnisse der vorstehenden Untersuchung sind folgende:

## I. Wirkung der in Betracht kommenden Faktoren auf die äussere Gestaltung der Pflanze.

Lufttrockenheit wirkt hemmend auf die Streckung der Internodien und das Längenwachstum. Licht wirkt hemmend auf das Längenwachstum nur im Vergleich zur Dunkelheit; vergleichen wir die Wirkung verschiedener Lichtintensitäten, so erweist sich helles Licht eher fördernd als hemmend. Bei Jus. rep. haben die Formen, die in Wasser bei intensiver Belichtung erwachsen sind, die längsten Internodien; die kürzesten Internodien treffen wir bei der Pflanze vom Trockenbeet (intensive Beleuchtung, trockene Luft, verhältnissmässig trockener Boden).

Feuchtigkeit wirkt fördernd auf das Längenwachstum des Blattstieles; die längsten Stiele zeigen die Wasserblätter, die kürzesten die Pflanzen vom Trockenbeet.

Die Blattform zeigt ihre Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit darin, dass das Verhältnis der Breite zur Länge des Blattes mit der Abnahme der Feuchtigkeit zunächst abnimmt, dann aber, wenn der Feuchtigkeitsgehalt ein gewisses Minimum erreicht hat, mit der weiteren Abnahme wieder zunimmt. Die Grösse des Blattes wird ebenfalls von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft beeinflusst, derart, dass die Blattgrösse bei abnehmender Feuchtigkeit zunächst wächst, dann, jenseits einer gewissen optimalen Grenze im Feuchtigkeitsgehalt, wieder abnimmt. Die Lage des Optimums betreffend des Feuchtigkeitsgehalts der Luft, wechselt mit der Lichtintensität.

Die Haarbildung wird ebenfalls von der Lufttrockenheit beeinflusst. In feuchter Luft haben die Pflanzen keine Haare; Landpflanzen in normaler

Luft und herausragende Teile der Wasserpflanze sind reichlich behaart; bei steigender Trockenheit nimmt die Haarbildung ab.

In trockener Luft entwickelten die Blätter einen schwach gezähnten Rand.

## II. Anatomische Struktur.

Licht wirkt fördernd auf die Ausbildung der Spaltöffnungen. Mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft wechselt die Ausbildung der Stomata derart, dass unter- und oberhalb eines optimalen Feuchtigkeitsgehaltes die Zahl der Spaltöffnungen reduziert erscheint. Über die Art unserer Zählung vergleiche man das oben gesagte. Die Lage des Optimalpunktes wechselt auch hier mit der Lichtintensität.

Das Untertauchen wirkt hemmend auf die Ausbildung der Spaltöffnungen, besonders auf der Unterseite des Blattes.

Die Grösse der Epidermiszellen wird von der Luftfeuchtigkeit und Belichtung in gleichem Sinne beeinflusst wie die Ausbildung der Stomata.

Die Undulierung der Epidermiswände an Blättern ist bei einem gewissen Feuchtigkeitsgehalte der Luft am geringsten, mit der Zu- oder Abnahme der Luftfeuchtigkeit von diesem Punkte ab, nimmt die Wellung der Epidermiswände zu.

Licht und Lufttrockenheit wirken fördernd auf die Ausbildung des Palissadenparenchyms; bei Wasserblättern und Trockenblättern, die an direktem Sonnenlicht sich entwickelt haben, ist die Dicke des Blattes erheblich grösser als bei den Schattenblättern.

Das Untertauchen wirkt hemmend auf die Ausbildung des Palissadenparenchyms, so dass das Mesophyl nahezu homogen wird.

Stark transpirierende Blätter zeigen Cuticularfältelungen.

Die Stengel der Trockenpflanzen zeigen eine stärkere Holzbildung und sind reichlicher mit Gefässen ausgestattet, als die Wasserpflanzen. Die Ausbildung der Intercellularräume nimmt bei steigender Lufttrockenheit ab; Wasserpflanzen besitzen die bestentwickelten Intercellularräume.

Bei intensiver Belichtung und in trockener Luft erwachsene Pflanzen bilden am meisten Gerbstoff.

## III. Aerenchym.

Auch im Stengel, wie es Schenk für die Wurzel gezeigt hat, können Rindenparenchymzellen an der Aerenchymbildung teilnehmen, daher sind Stengelaerenchym und Wurzelaerenchym entwicklungsgeschichtlich auf dieselben Gewebeanteile zurückzuführen; diese Tatsache spricht gegen eine rein morphologische Begründung des Aerenchymbegriffes. Bei der Klassifizierung dieses Gewebes muss, ausser seinen histologischen Merkmalen, auch sein reizphysiologisches Verhalten in Betracht gezogen werden; von diesem Standpunkte aus sind Rinden- und Lentizellenwucherungen von typischem Aerenchym nicht von einander zu trennen.

Die aufrechtwachsenden Aerenchymwurzeln stellen negativ-geotropische Organe dar. Für die Bildung des Aerenchyms ist die Gegenwart von Wasser unerlässlich; doch sind ausserdem für sie gute Ernährung und genügende Durchlüftung erforderlich, infolgedessen entstehen Aerenchymwurzeln nur bei mehr oder weniger intensiver Belichtung; verschiedene Pflanzen verhalten sich in dieser Hinsicht verschieden: Jus. rep. erfordert für die Bildung der negativ-geotropischen Aerenchymwurzeln eine grössere Lichtintensität als Jus. sal.

Das Stengelaerenchym von Jus. sal. fällt bei intensiver Belichtung üppiger aus als bei schwachem Licht.

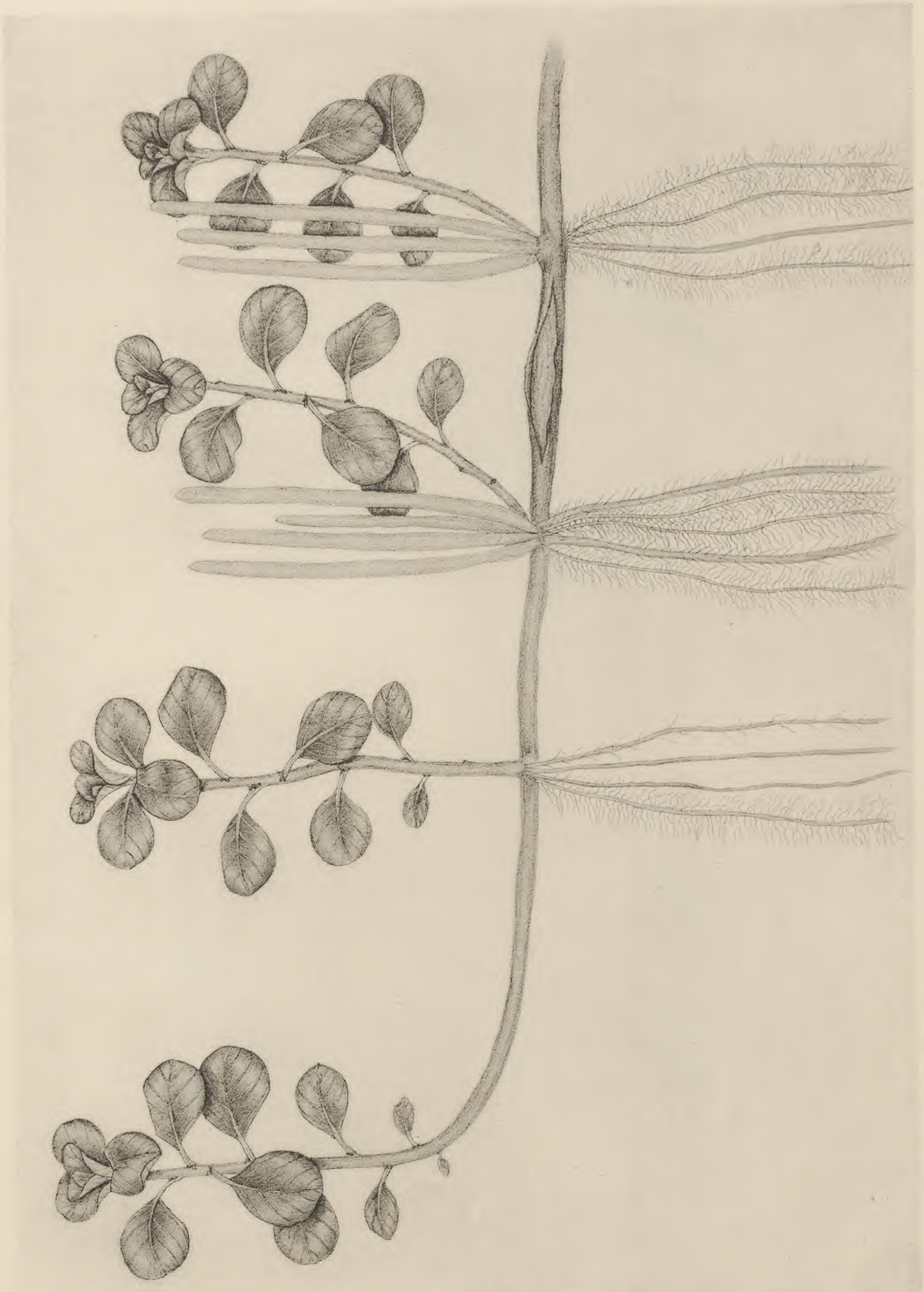
Nach künstlicher Loslösung des Stengelaerenchyms findet bei Jus. sal. eine Regeneration der Aerenchymhülle statt.

Völlig untergetauchte Pflanzen bilden weder Aerenchymwurzeln noch Stengelaerenchym.

Die Luftversorgung des Aerenchyms scheint hauptsächlich durch die Spaltöffnungen der Sprossteile zu erfolgen.

Als Ursache der Aerenchymbildung muss die Berührung mit Wasser angesehen werden; was für Reize dabei im Spiele sind, lässt sich nicht mit Sicherheit angeben.

Die Schencksche Annahme, dass der Sauerstoffmangel die Reizursache in diesem Falle abgibt, ist insofern ungenügend, als eine Reihe wichtiger Tatsachen durch sie keine genügende Erklärung finden.



*Seliber: Jussieua repens. Wasserpflanze. Tafel 1.*

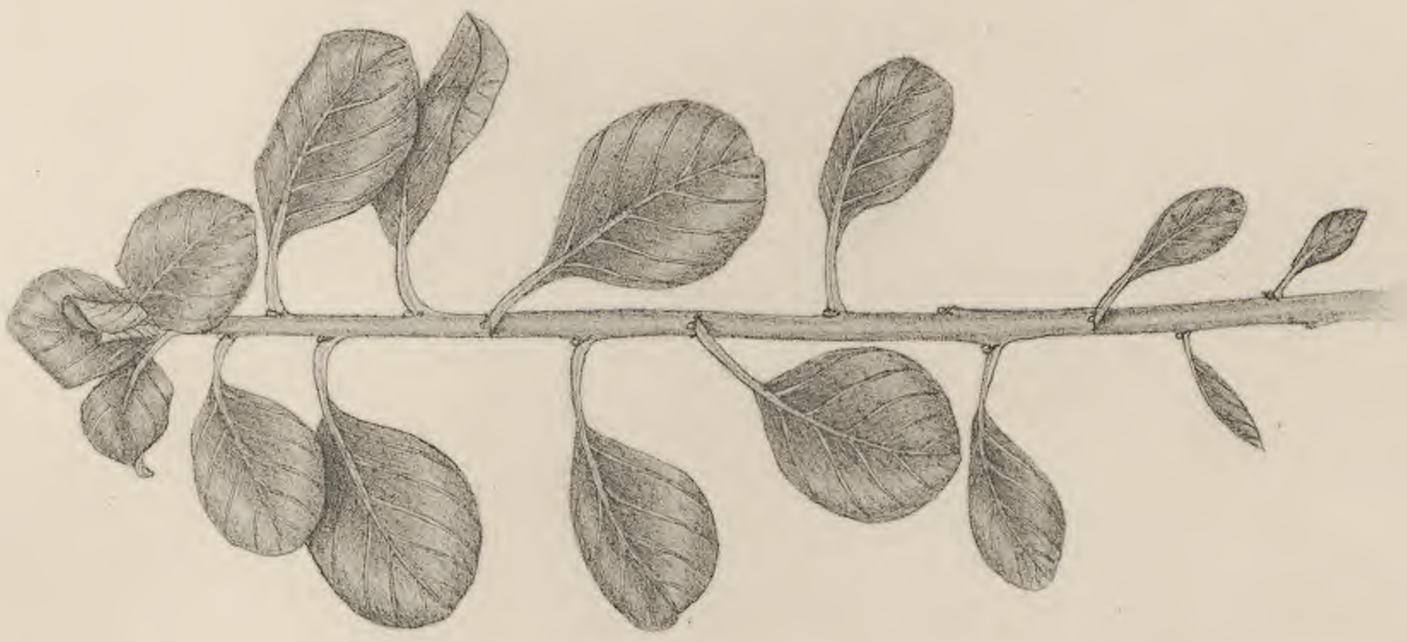
Lichtdruckanstalt Gebr. Plettner, Halle a. S.

*a) Herausragender Teil einer Wasserpflanze.*

*b) Trockenbeet.*

*Seliber: Jussieua repens. Tafel 2.*

Lichtdruckanstalt Gebr. Plettner, Halle a. S.



*b) Herbstform im Victoriahaus.*

*a) Herbstform im Gewächshaus.*

*Seliber: Jussieua repens. Tafel 3.*

*Seliber: Jussieua salicifolia. Tafel 4.*

Lichtdruckanstalt Gebr. Plettner, Halle a. S.

ff 197-200 omitted in printing

NOVA ACTA.
**Abh. der Kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher**
Band LXXXIV. Nr. 3.

# Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls

von

**Georg W. A. Kahlbaum** und **Siegfr. Räber**

# und das Gesetz ihrer Abhängigkeit von der Temperatur

von

**Siegfr. Räber.**

Mit 6 Tafeln Nr. XIII—XVIII.

Eingegangen bei der Akademie am 22. November 1904.

**HALLE.**
1905.
Druck von Ehrhardt Karras, Halle a. S.

Für die Akademie in Commission bei Wilh. Engelmann in Leipzig.

# Einleitung.

Gelegentlich seiner Arbeiten über destillierte Metalle[1]) hat Kahlbaum, um die zu untersuchenden Metalle, die sämtlich im Vakuum zu Stäben von rund 45 mm Länge und 6 mm Durchmesser zusammengeschmolzen waren, für die Dichtebestimmung möglichst frei von Gussfehlern zu erhalten, dieselben sehr hohen Drucken ausgesetzt, die nach und nach bis auf 20000 Atmosphären bei 180 Minuten Zeitdauer einer einzigen nicht unterbrochenen Operation, gesteigert wurden.

Die Pressungen wurden in der „Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt am schweizerischen Polytechnikum in Zürich“ mit der grossen 150-Tonnenpresse[2]) vorgenommen. Da es darauf ankam, den Druck genau zu messen, wurde davon abgesehen die Pressung in Metallformen vorzunehmen, weil hierbei stets die Gefahr vorhanden ist, dass Reibung die Messungen fälscht. Es wurde daher beschlossen, in einer Flüssigkeit zu pressen und auf Anraten des bewährtesten Fachmannes, des Herrn Prof. Dr. J. Amsler-Laffon in Schaffhausen, als solche Ricinusöl gewählt.

Als Presskopf diente ein Zylinder aus bestem englischen Werkzeugstahl von 300 mm Höhe und 150 mm Durchmesser, was bei rund 20 mm Weite der Bohrung 65 mm Wandstärke ergibt. In die etwa 200 mm tiefe Bohrung passte ein glasharter Stahlstempel von 3,35 $cm^2$ Grundfläche und rund 180 mm Höhe.

[1]) Georg W. A. Kahlbaum, Karl Roth und Philipp Siedler: „Ueber Metalldestillation und über destillierte Metalle“. Zeitschrift für anorg. Chemie, 1902, Bd. 29, S. 177.

[2]) Vgl. Mitteilungen der Materialprüfungsanstalt am eidg. Polytechnikum in Zürich. Heft 5, 2. Auflage, 1896, S. 148.

Die günstigsten Arbeitsbedingungen bot die Verwendung möglichst kalten und luftfreien Öles; dieselben wurden am besten dadurch erreicht, dass der Presskopf, mit kaltem Öl gefüllt, längere Zeit, z. B. die der Pressung vorhergehende Nacht hindurch, in einem Kühlraum stehen gelassen wurde, wobei auch die, beim Einfüllen des Öles oder beim Beschicken des gefüllten Presskopfes mit den Metallen, etwa eingeführte Luft, Zeit fand, aus der zähen Flüssigkeit zu entweichen.

Als Kriterium für das tadellose Funktionieren des Apparates diente das bei gleichbleibendem Druck regelmässige Eindringen des Stempels, das an einer Schublehre, die zwischen den Kopf des Stempels und die obere Fläche des Zylinders geschoben war, in gleichen Zeiträumen abgelesen wurde.

Dem auf diese Weise beobachteten Eindringen des Stempels entspricht natürlich das Ausfliessen einer entsprechenden Menge Ricinusöl, sodass damit die Ausflussgeschwindigkeit desselben gemessen wird. Dieselbe kann keine gleichmässige sein, da sich Temperatur wie Weglänge beständig ändern, sie kann aber auch eine vollkommen regelmässige nicht sein, da der Druck kein absolut konstanter, sondern ein um eine bestimmte Mittellage schwankender und ebenso die Temperaturänderung keine durchaus stetige ist.

Im allgemeinen zeigen diese Beobachtungen nun, dass nach einigem Schwanken im Beginn, das sich aus beim Einsetzen des Stempels eingeklemmter und zunächst austretender Luft erklärt, die Ausflussgeschwindigkeit wächst, um nachher abzunehmen und endlich einen sehr geringen, fast konstant bleibenden Wert anzunehmen. Tabelle 1 gibt ein Bild einer solchen Beobachtungsreihe. Gepresst wurde auf 10000 Atmosphären. Kolonne 1 gibt die Zeit an, Kolonne 2 die gemessene Höhe des herausragenden Teiles des Stempels in mm, Kolonne 3 die Differenz zwischen je zwei Messungen, d. h. die Höhe der ausgeflossenen Ricinusölsäule, die bei der gleichbleibenden Basis direkt proportional ist der Ausflussgeschwindigkeit.

Es war also, wie die Tabelle zeigt, innerhalb 100 Minuten und unter einem Druck von 10000 Atmosphären eine Säule Ricinusöl von rund 90 mm Höhe bei einer Basis von 3,35 $cm^2$, d. h. es waren etwa 30 $cm^3$ ausgeflossen; davon im letzten Drittel der Zeit, innerhalb etwa einer halben Stunde, eine

Säule von 10 mm Höhe oder nur rund 3 cm³ trotz des ungeheuren Druckes von 33500 kg, der auf dem Öl lastete.

**Tabelle 1.**

| | mm | $\Delta$ mm |
|---|---|---|
| $2^h$ $15^m$ | 98.7 | |
| 20 | 94.5 | 4.2 |
| 25 | 90.6 | 3.9 |
| 30 | 87.5 | 3.1 |
| 35 | 83.9 | 3.6 |
| 40 | 79.7 | 4.2 |
| 45 | 74.9 | 4.8 |
| 50 | 69.6 | 5.3 |
| 55 | 63.5 | 6.1 |
| $3^h$ $0^m$ | 56.0 | 7.5 |
| 5 | 46.4 | 9.6 |
| 10 | 35.2 | 11.2 |
| 15 | 23.7 | 11.5 |
| 20 | 17.3 | 6.4 |
| 25 | 15.2 | 2.1 |
| 30 | 13.4 | 1.8 |
| 35 | 12.0 | 1.4 |
| 40 | 10.8 | 1.2 |
| 45 | 9.3 | 1.5 |
| 50 | 8.3 | 1.0 |
| 55 | 7.2 | 1.1 |

Bei einer weiteren, unter dem gleichen Druck vorgenommenen Operation, die zwar nicht ganz so regelmässig verlief, bei der aber, sie fand in den Morgenstunden statt, die Temperatur konstanter gehalten werden konnte, zeigte sich, wie Tabelle 2 (S. 6) ersehen lässt, die Dauer gleichmässigen langsamen Ausflusses noch in höherem Masse; die Bedeutung der Kolonnen bleibt natürlich die gleiche.

Auch hier ist, diesmal innerhalb zweier Stunden der Stempel um 90 mm eingesunken, während die Ausflussmenge in den letzten 45 Minuten etwa gleich der in den letzten 30 Minuten der in Tabelle 1 geschilderten Operation ist. Die Differenz an Zeit erklärt sich offenbar aus der bei Operation 2 herrschenden niederen Temperatur.

Im ganzen wurden 670 Minuten auf 10000 Atmosphären gepresst. Da die Pressungen völlig glatt sich abwickelten und keinerlei Störungen sich zeigten, ist zu schliessen, dass bei einem Druck von 10000 Atmosphären die Elastizitätsgrenze des angewandten Werkzeugstahles noch nicht erreicht

**Tabelle 2.**

| | mm | $\Delta$ mm | | mm | $\Delta$ mm |
|---|---|---|---|---|---|
| $8^h\ 0^m$ | 94.7 | | $9^h\ 0^m$ | 23.8 | |
| | | 4.1 | | | 4.0 |
| 5 | 90.6 | | 5 | 19.8 | |
| | | 7.0 | | | 2.2 |
| 10 | 83 6 | | 10 | 17.6 | |
| | | 5.6 | | | 1.7 |
| 15 | 78.0 | | 15 | 15.9 | |
| | | 4.2 | | | 1.4 |
| 20 | 73.8 | | 20 | 14.5 | |
| | | 4.5 | | | 1.4 |
| 25 | 69.3 | | 25 | 13.1 | |
| | | 4.3 | | | 1.2 |
| 30 | 65.0 | | 30 | 11.9 | |
| | | 5.5 | | | 1.0 |
| 35 | 59.5 | | 35 | 10.9 | |
| | | 5.8 | | | 1.5 |
| 40 | 53.7 | | 40 | 9.4 | |
| | | 7.5 | | | 0.9 |
| 45 | 46.2 | | 45 | 8.5 | |
| | | 6 6 | | | 1.2 |
| 50 | 39.6 | | 50 | 7.3 | |
| | | 9.1 | | | 1.2 |
| 55 | 30.5 | | 55 | 6.1 | |
| | | 6.7 | | | 1.1 |
| $9^h\ 0^m$ | 23.8 | | $10^h\ 0^m$ | 5.0 | |

**Tabelle 3.**

| | mm | $\Delta$ mm | | mm | $\Delta$ mm |
|---|---|---|---|---|---|
| $8^h\ 20^m$ | 78.0 | | $9^h\ 35^m$ | 37.1 | |
| | | 3.0 | | | 4.5 |
| 25 | 75.0 | | 40 | 32.6 | |
| | | 2.1 | | | 4.4 |
| 30 | 72.9 | | 45 | 28.2 | |
| | | 2.5 | | | 4.3 |
| 35 | 70.4 | | 50 | 23.9 | |
| | | 2.3 | | | 2.9 |
| 40 | 68.1 | | 55 | 21.0 | |
| | | 2.4 | | | 1.9 |
| 45 | 65.7 | | $10^h\ 0^m$ | 19.1 | |
| | | 2.2 | | | 1.8 |
| 50 | 63.5 | | 5 | 17.3 | |
| | | 2.5 | | | 1.3 |
| 55 | 61.0 | | 10 | 16.0 | |
| | | 2.3 | | | 1.2 |
| $9^h\ 0^m$ | 58.7 | | 15 | 14.8 | |
| | | 2.4 | | | 0.8 |
| 5 | 56.3 | | 20 | 14.0 | |
| | | 2.6 | | | 0.9 |
| 10 | 53.7 | | 25 | 13.1 | |
| | | 2.8 | | | 0.9 |
| 15 | 50.9 | | 30 | 12.2 | |
| | | 3.1 | | | 0.5 |
| 20 | 47.8 | | 35 | 11.7 | |
| | | 3.2 | | | 0.8 |
| 25 | 44.6 | | 40 | 10.9 | |
| | | 4.0 | | | 0.7 |
| 30 | 40.6 | | 45 | 10.2 | |
| | | 3.5 | | | 0.7 |
| 35 | 37.1 | | 50 | 9.5 | |

war, da sonst Deformationen in besonderen Erweiterungen sich hätten zeigen müssen. Das war aber nicht der Fall, wie Tabelle 3 lehrt, die ein Bild der Beobachtungen bei einem um 2000 Atmosphären gesteigerten Druck gibt. Die Pressung wurde wiederum in den Frühstunden, nachdem der Presskopf die Nacht über mit Öl und den Metallen beschickt im Kühlraum gestanden hatte, vorgenommen. Gepresst wurde auf 12000 Atmosphären, was einer Belastung des Öles mit 40200 kg gleichkommt, die Dauer betrug $150^m$, dann musste wegen anderweitiger Benutzung der Presse der Versuch abgebrochen werden. Der Zylinder enthielt diesmal weniger Öl, daher der Stempel beim Beginn weniger herausragte; die Bedeutung der Kolonnen ist wieder die gleiche.

Wie die Tabelle lehrt, sind trotz des erheblich höheren Druckes von 7000 kg, der das Öl belastet, für das Ausfliessen einer gleichgrossen Menge — 3 $cm^3$ — zuletzt 5 resp. 20 Minuten mehr Zeit erforderlich gewesen, als in den früher tabellarisch dargestellten Operationen; offenbar ist in diesem Falle das Öl noch kälter gewesen. Dazu aber lehrt dieser Versuch in seiner vollständigen Analogie zu den vorigen, dass der Presskopf die vorhergehenden, in Summa 25 Operationen ohne jeden Schaden ausgehalten hatte.

Es wurde nun zu noch höheren Drucken bis 18000 kg und dann bis 20000 kg auf den $cm^2$ übergegangen. Tabelle 4 spiegelt die Beobachtungen bei dem letzten Drucke wieder. Ein Wachsen der Ausflussgeschwindigkeit zeigt diese Tabelle nicht, weil, um den Zylinder nicht

**Tabelle 4.**

| | mm | $\Delta$ mm |
|---|---|---|
| $10^h$ $30^m$ | 23.2 | |
| 35 | 18.3 | 4.9 |
| 40 | 15.4 | 2.9 |
| 45 | 13.3 | 2.1 |
| 50 | 11.7 | 1.6 |
| 55 | 10.6 | 1.1 |
| $11^h$ $0^m$ | 9.6 | 1.0 |
| 5 | 8.2 | 1.4 |
| 10 | 7.3 | 0.9 |
| 15 | 6.4 | 0.9 |
| 20 | 5.5 | 0.9 |

plötzlich zu belasten, von 14000 Atmosphären Druck an langsam Stufe für Stufe von 1000 zu 1000 kg der Druck gesteigert wurde.

Sonst gibt die Tabelle wieder das gleiche Bild. Trotz des übergewaltigen Druckes von 67000 kg, der auf dem Öl lastete, waren in den letzten 30 Minuten nicht ganz 2 $cm^3$ ausgeflossen! So ungeheuer ist die innere Reibung des Ricinusöls in der etwa 175 mm langen ringförmigen Kapillare, die den Zwischenraum zwischen dem Stempel und der Wand der Bohrung bildet. Aber es zeigte sich noch ein mehreres. Als der Versuch wiederholt werden sollte, ergab sich, dass jetzt die Elastizitätsgrenze für das verwandte Material überschritten war. Der Zylinder hatte sich ausgeweitet und war die Bohrung, wie der Fühlhebel lehrte, am unteren Ende um etwa 5 mm erweitert, während der äussere Durchmesser des Zylinders an der entsprechenden Stelle nur um etwa 1 mm gewachsen war; somit war die 65 mm starke Stahlwand am unteren Ende der Bohrung auf etwa 63 mm zusammengepresst worden, und diesem hierzu nötigen Druck hatte die innere Reibung der 150 mm hohen kapillaren Ricinusölsäule das Gleichgewicht gehalten! Natürlich war die ganze Bohrung ausgeweitet; wäre allein das untere Ende sackförmig aufgeblasen, so hätte der Zylinder fast unbeschadet weiter funktionieren müssen. —

Es ist wohl klar, dass diese nebenher beobachteten Tatsachen zu einem genaueren Studium reizen mussten, und so wurden sie der Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit über die Ausflussgeschwindigkeit und die Viskosität des Ricinusöls.

Seitdem Newton zuerst „die Vorgänge, welche beim Strömen von Flüssigkeiten in Röhren auftreten“, studiert hat, ist die Frage nach der inneren Reibung in Flüssigkeiten dauernd dem Arbeitsgebiet erst der reinen und mathematischen Physik, und dann, als die Chemie klarer zu sehen gelernt hatte, auch dem der physikalischen Chemie, einverleibt worden. Die Physik suchte, wie das stets ihre Aufgabe ist, zunächst den Vorgang an sich klar zu legen und dann den deckenden mathematischen Ausdruck dafür zu finden; die physikalische Chemie dagegen bestrebte sich, aus den Änderungen, die dieselbe infolge Wechsels der chemischen Zusammensetzung erleidet, den Einfluss des Ein- oder Austrittes gewisser Atome oder Atomkomplexe zahlenmässig festzulegen.

Für beide, für die Beobachtungen der Physik wie die der physikalischen Chemie, ergab sich dabei eine ganz generelle Trennung, nämlich, ob es sich um eine homogene Flüssigkeit, oder um Lösungen handelte. Schon an und für sich ist ohne Zweifel der letztere Fall der kompliziertere, da es sich hierbei um den Einfluss heterogener kleinster Teilchen, jener des Lösungsmittels und der gelösten Substanz, auf einander handelt. Machen wir uns aber die heut geltende Theorie zu eigen, nach der beim Lösungsphänomen der gelöste Stoff zum Teil dissoziert wird, so liegt auf der Hand, dass wir es mit einem äusserst verwickelten Problem zu tun haben, das vielleicht nicht von allen, die darüber gearbeitet haben, als solches erkannt worden ist. Denn da die Dissoziation, wie bereits angedeutet, nicht vollkommen, sondern von der Konzentration abhängig ist, so haben wir neben den zweierlei Ionen auch unzersetzte Molekeln in Lösung, so dass wir dreierlei, in ihrem gegenseitigen Mengenverhältnis mit dem Verdünnungsgrad und der Temperatur wechselnde Partikeln der gelösten Substanz haben, von denen jede Sonderart die Beobachtungen am reinen Lösungsmittel für sich, und nicht einmal notwendig immer im gleichen Sinne, beeinflussen muss. Nun ist das Ricinusöl als eine Lösung im obigen Sinne wohl nicht aufzufassen, aber eine homogene Flüssigkeit ist es auch nicht, es ist ein sogenanntes trockenes Fett, das neben anderen Glyceriden wesentlich das Glycerid der Ricinolsäure, auch Oxyölsäure $C_{18}H_{24}O_3$ genannt, enthält. Abgesehen von dem gänzlichen Fehlen an Vergleichsmaterial macht es dieser Mangel an bestimmter chemischer Individualität für eine physikalisch-chemische Studie ungeeignet, wir werden uns also in der vorliegenden Arbeit allein mit gewissen physikalischen Eigenschaften der Ricinusöl genannten Flüssigkeit zu befassen haben.

Eine historische Übersicht über das reiche bisher in gleicher Richtung bearbeitete Material brauchen wir hier nicht zu geben, es ist das in sehr ausgiebiger Weise von Professor R. Pribram[1]) in Czernowitz geschehen und in allerjüngster noch wieder, unter Zugrundelegung einer mehr mathema-

[1]) Über die Beziehungen zwischen innerer Reibung und der chemischen Zusammensetzung flüssiger Substanzen. Als drittes Kapitel der dritten Abteilung im 1. Band von: Graham-Otto, Ausführliches Lehrbuch der Chemie. Braunschweig 1898.

tischen Betrachtungsweise und weniger ausführlich von Professor Chwolson[1]) in St. Petersburg. Wir können also sogleich in die Sache eintreten.

Im Jahre 1842 hat Poiseuille[2]) aus zahlreichen und sorgfältig durchgeführten Versuchen über die Reibung in Flüssigkeiten mittelst der Methode der Kapillarröhren, die für uns hier allein in Betracht kommt, empirisch die folgende Formel aufgestellt:

$$Q = K.\frac{H.D^4}{L} \qquad (1)$$

worin

$Q$ die Ausflussmenge in der Zeiteinheit,
$H$ die Druckhöhe in Wasser,
$L$ die Länge und
$D$ der Durchmesser der Kapillaren bedeutet.

$K$ ist eine von der Temperatur und der Natur der Flüssigkeit abhängige Konstante; für Wasser fand Poiseuille:

$$K = 1836{,}724.(1 + 0.0336793.T + 0.0002209936.T^2) \qquad (2)$$

Die von Poiseuille aufgestellte Formel hat sich in der Folge als zutreffend bewiesen, so dass später, im Jahre 1860 Hr. Hagenbach[3]), jetzt Professor der Physik in Basel, daran gehen konnte, sie theoretisch zu begründen. Es gelang ihm das vollkommen auf Grund der Newtonschen Formel:

$$R = \eta.F.\frac{dv}{dy} \qquad (3)$$

worin $R$ die Reibungskraft auf einer Gleitfläche von der Grösse $F$, $dv$ die Geschwindigkeitsdifferenz der beiden sich reibenden Flüssigkeitsschichten und $\eta$ eine von der Temperatur und der chemischen Konstitution der Flüssigkeit abhängige Konstante bedeutet. Der Differentialquotient $\frac{dv}{dy}$,

---

[1]) Lehrbuch der Physik, deutsch von H. Pflaum, 8. Kapitel: „Reibung im Innern der Flüssigkeiten". Braunschweig 1902.

[2]) Poiseuille, Recherches experimentales sur le mouvement des Liquides dans les tubes de très petit diamètre. Mémoires de divers savants, Tom. IX, p. 433, 1842.

[3]) Hagenbach, Ueber die Bestimmung der Zähigkeit einer Flüssigkeit durch den Ausfluss aus Röhren. Poggendorfs Ann. d. Phys. u. Chemie, Bd. 109, 1860, S. 401.

genommen in einer zur Gleitfläche senkrechten Richtung, ist ein Mass für die Grösse der Geschwindigkeitsänderung in der angegebenen Richtung und soll Verschiebungsgeschwindigkeit genannt werden.

Herr Hagenbach legte seiner theoretischen Entwicklung ausserdem noch folgende Voraussetzungen zu Grunde:

1. Die Röhrenwand wird von der Flüssigkeit vollkommen benetzt, so dass die unmittelbar der Wand anliegende Flüssigkeitsschicht die Geschwindigkeit Null hat. Das will besagen, dass die, die innere Röhrenwandung berührende, Grenzschicht der Flüssigkeit an dem Rohr unbeweglich haftet, also ein Gleiten der Wandung entlang nicht stattfindet.

2. Derjenige Teil des gesamten Druckes, welcher der frei ausfliessenden Flüssigkeit ihre Geschwindigkeit erteilt, ist gegenüber dem Druck, der zur Überwindung des Reibungswiderstandes in der Röhre verbraucht wird, so klein, dass er vollkommen vernachlässigt werden darf.

Unter diesen Voraussetzungen führt die Theorie auf die Formel:

$$V = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{p r^4}{l} \cdot t \qquad (4)$$

Hiervon bedeutet:

$V$ die Ausflussmenge in $cm^3$,
$t$ die Ausflusszeit in Sekunden,
$p$ der Druck auf die Flächeneinheit in $Dyn/cm^2$,
$l$ die Länge und
$r$ der Radius der Kapillaren, beide ebenfalls in cm gemessen.

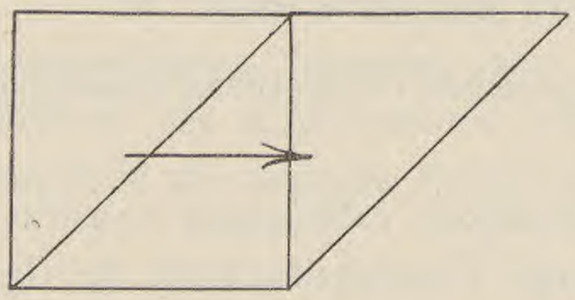
Für die Konstante $\eta$ ist durch Herrn Hagenbach die Bezeichnung „Zähigkeit“ in die Physik eingeführt worden.

Aus Formel (3) folgt:

$$\eta = \frac{R}{F \cdot \frac{dv}{dy}}, \text{ d. h.:}$$

Die Zähigkeit einer Flüssigkeit ist die Reibungskraft auf der Einheit der Gleitfläche bei der Einheit der Verschiebungsgeschwindigkeit.

Die Einheit der Verschiebungsgeschwindigkeit haben wir dann, wenn ein Flüssigkeitswürfel sich in der Zeiteinheit durch Parallelverschiebung



der einzelnen, zur ruhend gedachten Grundfläche parallelen Flüssigkeitsschichten so deformiert, dass er in ein Parallelopipedum übergeht, dessen Seitenkanten mit der Grundfläche Winkel von 45° einschliessen. Alsdann verschiebt sich jede zur Grundfläche parallele Schicht um eine Strecke, welche gleich ist ihrem Abstand von der Grundfläche.

Herr Hagenbach hat eine weitere Definition der Zähigkeit auch aus dem Energiebegriff hergeleitet; er findet nämlich,[1]) dass die bei der Bewegung einer zähen Flüssigkeit im Volumen $V$ und in der Zeiteinheit geleistete Arbeit, also die Leistung, ausgedrückt wird durch

$$\eta \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^2 . V,$$

d. h. die Leistung ist dem Quadrat der Verschiebungsgeschwindigkeit und dem Volumen direkt proportional.

Somit:

$$\eta = \frac{\text{Leistung}}{V\left(\frac{dv}{dy}\right)^2} \qquad (5)$$

Hieraus folgt:

Die Zähigkeit $\eta$ ist gleich der Leistung in der Volumeneinheit bei der Einheit der Verschiebungsgeschwindigkeit.

Aus beiden Definitionen erhalten wir für die Zähigkeit die Dimension:

$$[\eta] = G\,S^{-1}\,C^{-1} \qquad (6)$$

Die aus der Theorie hergeleitete Formel (4) ist mit der Poiseuilleschen vollkommen identisch.

Sobald derjenige Teil der gesamten potentiellen Energie des Druckes, welcher der frei ausfliessenden Flüssigkeit die Geschwindigkeit erteilt, nicht

[1]) Hagenbach, Définition de la viscosité d'un liquide. Compte rendu des travaux de la Société Helvétique des sciences naturelles à Zermatt 1895, Archives de Genève. T. 33, p. 377.

mehr verschwindend klein ist gegenüber dem zur Überwindung des Reibungswiderstandes erforderlichen, so gilt das Poiseuillesche Gesetz nicht mehr streng und die Theorie führt in diesem Falle auf die Formel:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{p r^4 t}{l V} - \frac{\delta V}{8 \pi l t} \qquad (7)$$

Hierin ist mit $\delta$ die Dichte der Flüssigkeit bezeichnet; im übrigen haben die Buchstaben die nämliche Bedeutung wie in Formel (4).

$$\Gamma = - \frac{\delta V}{8 \pi l t}$$

ist somit diejenige Korrektion, die bei der Berechnung von $\eta$ nach Formel (4) in Rechnung zu bringen ist, sobald die Geschwindigkeit im Kapillarrohr eine beträchtliche wird. Ausser Herrn Hagenbach haben sich auch noch Finkener,[1]) Wilberforce[2]) und Couette[3]) damit abgegeben, den genauen Betrag dieser Korrektionsgrösse zu ermitteln.

Wie Rellstab[4]) gezeigt hat, ist es nicht nötig, dass während eines Versuches der Druck absolut konstant bleibt; es kann bei gleichmässiger Änderung desselben der mittlere Wert des Druckes eingesetzt werden.

Aus Formel (4) erhalten wir:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l.V} \cdot p \cdot t \qquad (4a)$$

Der Ausdruck

$$\frac{r^4}{l.V}$$

in der obigen Formel ist von den Dimensionen des Apparates abhängig. Um sich bei einem Vergleich der Zähigkeit verschiedener Flüssigkeiten davon unabhängig zu machen und die nicht immer ganz einfache Bestimmung

[1]) Gartenmeister, Die Zähigkeit flüssiger Kohlenstoffverbindungen und ihre Beziehung zur chemischen Konstitution. Zeitschrift für phys. Chemie, 1890, Bd. 6, S. 524.

[2]) Wilberforce, On the Calculation of the Coeffizient of Viscosity of a Liquid from its Rate of Flow through a capillary Tube. Philosophical Mag. 1891 (5), Vol. 31, p. 407.

[3]) Couette, Etudes sur le frottement des Liquides. Ann. d. Ch. et de Phys. 1890 (6), T. 21, p. 433.

[4]) Rellstab, Ueber Transspirationsgeschwindigkeit homologer Flüssigkeiten. Inaugural-dissertation, Bonn, 1868.

dieser Grösse zu vermeiden, hat eine Mehrzahl der Beobachter erst den „Wasserwert“ des Apparates bestimmt, d. h. in demselben die Durchflusszeit des Wassers und zwar des gleichen Volumens unter dem gleichen Druck und bei bestimmter Temperatur gemessen und die gewonnene Grösse dann mit derjenigen der zu bestimmenden Flüssigkeiten verglichen.

Nennen wir $t$ die Durchflusszeit des zu bestimmenden Stoffes, $t_w$ die des Wassers in dem gleichen Apparat und unter dem gleichen Druck bei der Temperatur 0° C, so verhalten sich die Zähigkeiten der beiden Flüssigkeiten wie ihre Durchflusszeiten:

$$z : z_w^{\circ} = t : t_w$$

Setzen wir

$$z_w^{\circ} = 100,$$

so ergibt sich:

$$z = \frac{100 \cdot t}{t_w} \qquad (8)$$

Diesen Ausdruck bezeichnen Pribram und Handl[1]) als spezifische Zähigkeit.

Eine solche Möglichkeit, eine Wasserbestimmung in dem gleichen Apparat vorzunehmen, lag, sofern es sich um genaue Beobachtungen handeln soll, für Ricinusöl nicht vor; die ungeheuere Zähigkeit desselben setzte für den Apparat so völlig andere Dimensionen voraus, dass ein direkter Vergleich mit Wasser ausgeschlossen war. —

Schon oben haben wir ausgesprochen, dass es sich für uns hier ausschliesslich um eine physikalische Studie an der „Ricinusöl“ genannten Flüssigkeit handeln konnte, wir also zunächst die Frage: ob das Poiseuille-sche Gesetz auch für eine Flüssigkeit von so enormer Zähigkeit noch Geltung habe, lösen müssen.

[1]) Pribram und Handl, Ueber die spezifische Zähigkeit der Flüssigkeiten und ihre Beziehung zur chemischen Konstitution. Sitzungsber. der math.-naturw. Klasse der Kais. Akademie d. Wissenschaften, Wien. II. Abth., Bd. 78, 1878; Bd. 80, 1879, S. 17; Bd. 84, 1881, S. 717.

## Die orientierenden Vorversuche

waren zunächst darauf gerichtet, über den zu wählenden Durchmesser der Röhren Aufschluss zu gewinnen und gleichzeitig festzustellen, ob es tunlich sei, die Menge des ausgeflossenen Öles fehlerlos durch Wägung festzustellen.

Die ersteren Versuche bieten ein besonderes Interesse nicht dar; es wurden nur Kapillaren verschiedenen Durchmessers neben und nach einander verglichen, auch vergleichsweise mit verschiedenen Flüssigkeiten beschickt und endlich bei Röhren vom ungefähren Durchmesser 1,2 mm stehen geblieben. Dieselben schienen die für das Ricinusöl geeignetsten Dimensionen darzubieten, indem sie noch der Hagenbachschen Voraussetzung genügten, nach der der Durchmesser so klein gewählt werden muss, dass „nur eine verschwindend kleine absolute Geschwindigkeit des Ausfliessens erzielt wird". Für solche Röhren von rund 15 cm Länge betrug die Ausflussgeschwindigkeit beim Druck einer zirka 10 cm hohen Flüssigkeitssäule und bei 20° C Temperatur etwa: 1 Tropfen vom Gewicht 0,03 g in 20 Minuten. Bei so geringer Ausflussgeschwindigkeit, die zur Folge hatte, dass ein Versuch etwa 24 Stunden dauerte, war es von grösster Bedeutung, ja es war direkte Voraussetzung, dass nicht etwa durch Verdampfung sich Fehler in das Resultat einschleichen. Die Voraussetzung, dass das nicht der Fall ist, wurde durch die Versuche bestätigt, indem sich an einem gewogenen Näpfchen mit Ricinusöl auch nach mehreren Tagen eine merkliche Gewichtsabnahme nicht nachweisen liess.

Die Poiseuillesche Formel lehrt, dass bei gleicher Temperatur und gleichem Durchmesser die Ausflussgeschwindigkeit umgekehrt proportional der Länge des durchflossenen Rohres ist. Dieser Satz war zu prüfen. Dabei wird noch vorausgesetzt, dass die Flüssigkeit in beiden Röhren unter dem gleichen Druck fliesst. Hier bot sich die erste Schwierigkeit, und da

ihre Lösung für den Bau des endgültigen Apparates massgebend wurde, sei kurz darauf eingegangen. Dickwandige Kapillaren können unschwer an weitere Glasrohre angesetzt werden, ohne eine nennenswerte Änderung ihrer Länge oder ihres Durchmessers an der Ansatzstelle zu erleiden. In dem Bestimmen der Dimensionen liegt also auch bei einem ganz aus Glas zusammengeblasenen Apparat eine Schwierigkeit nicht. Wohl aber liegt eine solche, wenn es sich um Ausflussröhren von verschiedener Länge handelt, in dem Erzielen eines Konstanten, resp. was ja, wie wir gesehen haben, genügen würde, eines sich gleichmässig ändernden Druckes.

Zwar liegt auch in dem Konstanthalten der Temperatur eine nicht geringe Schwierigkeit, hier aber bei dem Vergleich zweier Röhren konnte man sich dadurch helfen, dass die beiden neben einander gestellten Apparate, durch eine Pappschachtel bedeckt, in einem geschlossenen Raum arbeiten gelassen wurden. Hält sich die Temperatur auch nicht absolut konstant, so teilen sich doch die Schwankungen beiden Apparaten gleichmässig mit, so dass bei einem Vergleich der Temperaturfaktor eliminiert werden kann.

Gleiches gelingt für den Druck leider nicht ohne weiteres. Da aus dem kürzeren Rohr stets mehr ausfliesst, so ändert sich das Verhältnis der beiden Drucke zu einander beständig. Da nun die Grösse der Ausflussgeschwindigkeit in ihrer Abhängigkeit vom Druck noch nicht bekannt war, so resultierte eine Gleichung mit zwei Unbekannten. Das einfachste Mittel für das Konstanthalten des Druckes, das auch sonst bei ähnlichen Untersuchungen angewandt wurde, die Mariottesche Flasche, versagte, weil die Zähigkeit des Ricinusöls das Aufsteigen der Luftblasen hinderte; besser bewährte sich eine Schlauchverbindung mit einem weiten Gefäss, durch die, nach dem Prinzip kommunizierender Röhren, das Niveau in dem Ausflussgefäss und damit der Druck einigermassen konstant gehalten wurde, aber auch das war nur ein unzulänglicher Notbehelf; endlich gelangte man dazu, die beiden Ausflussröhren an ein Gefäss anzuschmelzen. Nun war der Druck in beiden Röhren zweifellos stets der gleiche und konnte er bei einem Vergleich des Einflusses der Rohrlänge auf die Ausflussgeschwindigkeit vernachlässigt werden.

Die bei den Vorversuchen gesammelten Erfahrungen wurden bei der Konstruktion des definitiven

## Apparat I

verwertet. Derselbe bestand aus einem geräumigen, etwa 2 l fassenden Kolben *A* (Tafel II, Fig. 1), der das Ausflussgefäss darstellte; derselbe hatte einen oberen Hals *o* und einen nach unten gerichteten *u*. Dieser letztere trug, horizontal, in der Zeichnung nach rechts, abgebogen einen dreifach gegabelten Fortsatz, über dessen drei Zinken 1, 2 und 3 drei genau gleich lange und weite Gummischläuche gezogen waren, die ihrerseits wieder über drei verschieden lange, zur Bestimmung des Einflusses der Rohrlänge auf die Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls dienende dickwandige, kalibrierte und gemessene Kapillaren gestülpt waren.

Nach der anderen Seite war an *u* ein weiterer Stutzen *s* angeblasen, der ein Manometer *m* trug.

Der obere Hals *o* von *A* endete in einen Kahlbaumschen Schliff mit Quecksilberverschluss[1]) *Q*. Kolben *A* trug noch in der Mitte eine Strichmarke *a*—*b*, die zur ungefähren Einstellung beim Nachfüllen des Ricinusöls diente. Ursprünglich war beabsichtigt, die Abnahme des Öls im Apparat durch einen Schwimmer zu kontrollieren, deshalb trug der obere Hals *o* eine mm-Einteilung mittelst deren an der Marke des Schwimmers die Druckänderung, die durch das Sinken des Öls im Apparat hervorgerufen wurde, hätte kontrolliert werden können. Die Einrichtung hat sich jedoch nicht bewährt.

Um die Druckhöhen und damit die Ausflussgeschwindigkeiten wenigstens einigermassen variieren zu können, war auf *Q* ein Glashut aufgeschliffen, der einen zweiten Kolben $A_1$ trug, dessen Dimensionen und sonstige Anordnung dem Kolben *A* völlig entsprach. Der untere Hals $u_1$ war verlängert und ein wenig verengert, so dass er ein Stück weit unter das Öl in *A* tauchen konnte. Der obere Hals $o_1$ trug ebenfalls eine mm-Teilung, um das Sinken des Schwimmers zu verfolgen; — wie gesagt, unterblieben aber diese Ablesungen, weil sie ungenau waren. Um das Einschütten von Öl durch diesen Hals, — immer des Schwimmers wegen — zu vermeiden, trug $A_1$ noch einen Stutzen *T*, dem ein Hahntrichter zum Nachfüllen des Öls aufgeschliffen war.

[1]) Zeitschrift für Instrumentenkunde. Bd. 14, 1894, S. 21.

Der ganze untere Teil des Apparates war in einem Blechkasten mit rechteckiger Grundfläche untergebracht, der mit Asbest umhüllt und ganz langsam fliessendem Wasser, das hinten, links unten zu- und vorn, rechts oben abgelassen wurde, gefüllt war.

Ganz konstant konnte die Temperatur auf diese Weise, bei der sehr langen Dauer einer Bestimmung natürlich nicht gehalten werden, um aber die Änderung möglichst zu verlangsamen, wurde das zufliessende Wasser noch in einem Bleirohr durch das Bad selbst geleitet. Dieses Bleirohr war über 2,5 m lang und ruhte auf einem weitmaschigen Drahtgeflecht, etwa 3 cm über dem Boden des Blechkastens. Es war schlangenförmig gebogen, aber die einzelnen Windungen so weit auseinander gelegt, dass das umspülende Wasser nirgends in seiner Bewegung gehemmt wurde.

Die am leichtesten und sichersten konstant zu erhaltende Temperatur 0° konnte nicht bei den Beobachtungen herangezogen werden, weil schon von etwa 5° C ab sich im Ricinusöl feste Glyceride auszuscheiden beginnen, die als flockiger Niederschlag sich absetzen und die Kapillaren verstopfend, das Ausfliessen hindern.

Der Blechkasten trug an der vorderen Stirnwand drei Blechstutzen, in welche drei einmal durchbohrte Gummistopfen, die je eine der Kapillarröhren trugen, eingepasst waren. Den Kapillaren waren knieförmig gebogene, gleich lange, weitere Glasröhren vorgeschmolzen, deren Dimensionen so gewählt waren, dass sie etwa eine dem äusseren Durchmesser der dickwandigen Kapillaren entsprechende lichte Weite von rund 6 mm hatten und eine Länge, mit der sie, durch Zapfen und Stutzen hindurch, noch etwa 5 cm in das Wasser des Blechkastens hineinragten. Auf der anderen Seite waren die Kapillaren, wie schon oben angedeutet, mit, unter sich gleich langen Gummischläuchen von ebenfalls 6 mm lichter Weite, die genau gleich weit über sie wie über die Zinken des gegabelten Fortsatzes *f* gestülpt waren, verbunden.

Wie ersichtlich, ist der Grundgedanke, der dem Aufbau des ganzen Apparates zu Grunde gelegen hat, der: alle Verhältnisse, Druck, Temperatur, angewandtes Öl, Weg bis zur Kapillare, Weg von der Kapillare ins Wiegegefäss, Dauer des Versuchs, sind völlig gleich zu wählen, variabel sind allein Länge und Durchmesser der Kapillaren; der Apparat ist also wohl-

geeignet, die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes für Ricinusöl, soweit sich dasselbe auf die Abhängigkeit der inneren Reibung von der Länge und dem Durchmesser dieser Kapillaren bezieht, zu prüfen; er ist es aber auch nur dafür, für weiteres ist er nicht geeignet.

Es sei nun über die Versuche mit diesem Apparat und die dabei erzielten Resultate, zunächst die

## Vorarbeiten

berichtet.

Die meisten Beobachter bestimmen die Ausflussgeschwindigkeit der Flüssigkeiten dadurch, dass sie an einem kalibrierten Sammelgefäss die Zeit beobachten, die verstreicht von dem Moment an, wo das Flüssigkeitsniveau eine bestimmte Marke verlässt, bis zu dem Augenblick, in welchem dasselbe eine tiefer gelegene Marke erreicht. Das Volumen der ausgeströmten Flüssigkeit ist alsdann gleich dem Volumen des Sammelgefässes zwischen den beiden Marken und ist als solches ein für allemal bestimmt. Variabel ist in diesem Falle die Durchflusszeit.

Diese Methode empfahl sich in dem vorliegenden Falle wegen der besonderen Eigenschaften des Ricinusöls nicht. Dasselbe besitzt nicht nur eine sehr grosse Kohäsion, sondern es ist auch seine Adhäsion an feste Körper, besonders an Glas, eine sehr beträchtliche. Wollte man nach dieser Methode die Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls bestimmen, so würden relativ grosse Mengen dieser Flüssigkeit an der Gefässwandung haften bleiben, was namentlich bei der Feststellung des Temperatureinflusses zu Ungenauigkeiten führen würde. Wir zogen es daher vor, durch Wägung des ausgeflossenen Öles seine Masse und aus dieser und der experimentell bestimmten Dichte desselben, sein Volumen zu berechnen, ein Weg, der unseres Wissens auch von Grotrian[1]) eingeschlagen wurde.

Sollte somit die Ausflussmenge durch Wägung festgestellt werden, so musste zunächst bestimmt werden, ob nicht etwa ein Verlust durch Verdampfen oder eine Gewichtszunahme durch Sauerstoffaufnahme stattfand

---

[1]) Grotrian, Weitere Mitteilungen über den Zusammenhang der Viskosität und dem galvanischen Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten. Poggend. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1877, Bd. 160, S. 238.

und dadurch die Genauigkeit der Bestimmung beeinträchtigen könne. Es wurden kleine Näpfchen mit Ricinusöl gefüllt, so dass eine möglichst grosse Oberfläche das Berühren mit der Luft begünstigte und die gefüllten Näpfchen gewogen, darauf mehrere Tage stehen gelassen und wieder gewogen. Konstanz des Gewichtes zeigte, dass weder Verdampfung stattgefunden hatte, noch dass durch Gewichtszunahme die Resultate im entgegengesetzten Sinne gefälscht wurden.

**Wägungsresultate:**

| Oktober | | | Gewicht des Näpfchens g |
|---|---|---|---|
| 9. | $3^h\ 0^m$ | nachm. | 20.884 |
| 10. | $2^h\ 0^m$ | „ | 20.886 |
| 11. | $10^h\ 0^m$ | vorm. | 20.884 |

Die Zahlen weisen zur Genüge aus, dass die lange Dauer eines Versuches das Resultat der Wägungen nicht beeinflusst, dass also nach der Richtung die angewandte Methode einwandfrei ist.

Um Kapillaren mit möglichst gleichmässigem Durchmesser anwenden zu können, wurden längere Röhren kalibriert und aus diesen die gleichmässigsten Stücke herausgeschnitten. Die Kalibrierung geschah in bekannter Weise dadurch, dass die Länge eines Quecksilberfadens an allen Stellen des Rohres abgelesen wurde. Zur Messung diente ein Massstab, der in 0,25 mm geteilt war und mit der Lupe abgelesen wurde. Verschoben wurde der Faden mit Hülfe eines zusammendrückbaren Gummiballes, eine Methode, die wir wohl empfehlen können. Der Quecksilberfaden lässt sich auf diese Weise nicht nur leicht verschieben, sondern auch ganz gut ganz aus dem Rohr herausdrücken, um ihn zur Wägung, behufs Bestimmung des Radius aus Länge und Gewicht zu verwenden.

Auch hier zeige ein Beispiel die Versuchsergebnisse.

## Kalibrierung der Kapillaren *A*.

Länge des Quecksilberfadens in der Röhre.

| 1. Messung vorwärts mm | 2. Messung rückwärts mm |
|---|---|
| 19.0 | 19.0 |
| 19.0 | 19.0 |
| 18.9 | 19.0 |
| 19.0 | 18.9 |
| 18.9 | 19.0 |
| 19.0 | 19.0 |
| 19.0 | 19.0 |
| 18.9 | 19.0 |
| 19.0 | 19.0 |
| 18.9 | 18.9 |
| $18.7_5$ | 18.8 |
| $18.7_5$ | $18.7_5$ |
| 18.8 | 18.9 |
| $18.7_5$ | 18.9 |
| 18.8 | 19.0 |
| 18.9 | 19.0 |
| 19.0 | 19.0 |

Hieraus ergibt sich die mittlere Länge des Quecksilberfadens:

$$\lambda = 18.93 \text{ mm.}$$

Gewicht des Quecksilberfadens:

| | |
|---|---|
| 1. Wägung . . . | 0,2869 g |
| 2. „ . . . | 0,2863 g |
| Im Mittel . $\gamma$ = | 0,2866 g |

Zimmertemperatur: 17° C.

Dichte des Quecksilbers bei dieser Temperatur:

$$\sigma = 13{,}554.^{1})$$

Hieraus berechnen wir den Radius der Kapillaren unter Voraussetzung eines kreisförmigen Querschnittes, nach der Formel:

$$r = \sqrt{\frac{\gamma}{4\sigma\lambda}}$$

---

[1]) Laudolt u. Börnstein, Tabellen, 2. Auflage, 1894, Seite 40 und 41.

und erhalten:

$$r = 0{,}596 \text{ mm},$$

also ist der Durchmesser:

$$d = 1.192 \text{ mm}.$$

In derselben Weise wurden noch weitere vier Kapillaren

$B$, $C$, $D$ und $E$

gemessen; die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Bezeichnung der Kolonnen ist aus dem oben gesagten ersichtlich; unter $L$ stehen die Längen der Röhren.

**Tabelle 5.**

| | $\lambda$ cm | $\gamma$ g | $r$ mm | $d$ mm | $L$ cm |
|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 1.893 | 0.2866 | 0.596 | 1.192 | 32 |
| $B$ | 1.947 | 0.3158 | 0.616 | 1.232 | 24 |
| $C$ | 1.812 | 0.2879 | 0.610 | 1.220 | 16 |
| $D$ | $1.947_5$ | 0.3657 | 0.663 | 1.326 | 18 |
| $E$ | $1.973_5$ | 0.3408 | 0.636 | $1.271_5$ | 36 |

Die zur Verwendung gelangenden Thermometer trugen alle, nach der Kahlbaumschen Anordnung, sowohl den Eis- als den Siedepunkt; sie waren entweder in der Reichsanstalt geprüft, — an diesen wurden die Fixpunkte noch einmal festgelegt, — oder es waren die nicht geprüften in ihrer ganzen Skalenlänge mit amtlich verifizierten verglichen. Da es sich nur um mittlere Temperaturen handelte, konnte der Vergleich in Wasser vorgenommen werden. Ein doppelwandiges aufrecht gestelltes Glasrohr vom Durchmesser etwa 6 cm des äusseren und rund 3 cm des inneren Rohres wurde aussen mit fliessendem, durch einen unteren Stutzen ein- und durch einen oberen austretendem Wasser gefüllt, das, je nach der gesuchten Temperatur, zuvor erwärmt oder gekühlt wurde. Ebenso füllte Wasser von nahezu der gewünschten Temperatur das innere etwa 25 cm lange unten geschlossene Rohr. In dieses tauchten die zu vergleichenden Thermometer ganz ein, die Kugeln in gleicher Höhe angeordnet. Durch einen ringförmigen Rührer, der noch durch in dauerndem Strom langsam aufsteigende

Luftblasen unterstützt wurde, wurde das Wasser im inneren Rohr in dauernder Bewegung erhalten. Die Vergleichung wurde bei auf- und bei absteigender Temperatur durchgeführt.

Besondere Sorgfalt auf die Druckmessung brauchte bei unseren Versuchen nicht gelegt zu werden, weil, wie derselbe sich auch während der Dauer eines Versuches ändern mochte, — da alle drei Röhren aus demselben Reservoir gespeist wurden —, sein Einfluss auf das ganze System immer absolut der nämliche sein musste.

Dagegen musste etwas anderes noch in Betracht gezogen werden. Es lag die Möglichkeit vor, dass, während das eine Mal unmittelbar nach dem Untersetzen, wie vor dem Fortnehmen des zu wiegenden Gefässes je ein Tropfen in dasselbe fiel, ein anderes Mal unmittelbar vor dem Untersetzen und nach dem Entfernen der Tropfen fiel. Dadurch musste sich eine Differenz ergeben, die im ungünstigsten Falle zwei Tropfen betragen konnte. Es wurde demnach die Zeit, in der ein Tropfen fiel und das Gewicht eines solchen bestimmt. Nun ist es ja ganz klar, dass beides, Zeit und Grösse von der Temperatur abhängen muss, — der Einfluss der Druckänderung fällt hier, weil zu gering, weg —; es hätten füglich bei allen Temperaturen solche Versuche angestellt werden müssen. Da das aber zu weit geführt hätte und eine völlig konstante Temperatur so wie so nicht erreicht wäre, wir zudem doch nur ausnahmsweise mit dem allerextremsten Falle zu rechnen haben werden, so liessen wir es daran genügen, die Grössenordnung des besagten Fehlers festzustellen. Zu diesem Ende wurde durch die drei in Apparat I zur Verwendung kommenden Kapillaren *A*, *B* und *C* Ricinusöl gepresst, bei einem Überdruck von 12 mm Quecksilber und bei einer mittleren Temperatur von ca. 7° C. Die Versuchsdauer betrug 27 Stunden. Während des Versuches wurde aus jeder Kapillare je ein Tropfen gewogen und die zu seiner Bildung erforderliche Zeit bestimmt. Die Resultate sind in Tabelle 6 (S. 24) zusammengestellt.

Während die Bildungsdauer eines Tropfens naturgemäss wesentlich von der Länge und dem Durchmesser der Kapillaren abhängt, ist das Gewicht eines einzelnen Tropfens sowohl von den Dimensionen der Kapillaren, als auch von dem herrschenden Druck so gut wie unabhängig. Dasselbe ist bloss bedingt durch die Grösse der zwischen den Molekeln wirkenden

Kohäsion und ist daher, wie diese, bloss von der Temperatur abhängig.

**Tabelle 6.**

| Kap. | Ausflussmenge in 27 Stunden g | Gewicht eines Tropfens g | Bildungsdauer Minut. |
|---|---|---|---|
| *A* | 9.164 | 0.0357 | 6.5 |
| *B* | 14.052 | 0.0383 | 5.0 |
| *C* | 20.333 | 0.0367 | 3.0 |

Das mittlere Gewicht eines Tropfens ist demnach:

$$\gamma = 0.0369 \text{ g}$$

Die Unsicherheit der Ausflussmenge beträgt im Maximum zwei Tropfen, also:

$$\Delta = \pm 0.0738 \text{ g}$$

Bezeichnen wir nun mit

$$V_a,\ V_b \text{ und } V_c$$

die in der Zeit von 27 Stunden durch die Kapillaren *A*, *B* und *C* hindurchgeflossenen Mengen, welche in obiger Tabelle enthalten sind, so beträgt die Unsicherheit $\Delta$

$$\begin{aligned} 0{,}8\,\% &\text{ von } V_a \\ 0{,}5\,\% &\text{ „ } V_b \\ 0{,}4\,\% &\text{ „ } V_c \end{aligned}$$

In Prozenten ist der Fehler natürlich um so kleiner, je grösser die Ausflussmenge ist. Wie weit derselbe die Resultate der folgenden Untersuchungen zu beeinflussen vermag, soll weiter unten gezeigt werden.

Damit waren die nötigen Vorarbeiten erledigt und wir können nun zu einer Darstellung der

**definitiven Versuche in Apparat I**

übergehen. Bezeichnen wir mit

$$L_a,\ L_b \text{ und } L_c$$

die Längen, mit

$$r_a,\ r_b \text{ und } r_c$$

die Radien der drei in Apparat I Verwendung findenden Kapillaren *A*, *B*, *C*, so ist, wenn das Poiseuillesche Gesetz Geltung hat:

$$V_a = C.\frac{{r_a}^4}{L_a}, \quad V_b = C.\frac{{r_b}^4}{L_b}, \quad V_c = C.\frac{{r_c}^4}{L_c}.$$

Der Proportionalitätsfaktor $C$ ist überall der gleiche, indem dieser bloss von dem herrschenden Druck und von der Temperatur abhängt. Druck und Temperatur sind aber für alle drei Kapillaren gleich.

Wir bilden nun die folgenden Verhältnisse:

$$\frac{V_b}{V_a} = \left(\frac{r_b}{r_a}\right)^4.\frac{L_a}{L_b}, \quad \frac{V_c}{V_a} = \left(\frac{r_c}{r_a}\right)^4.\frac{L_a}{L_c}, \quad \frac{V_c}{V_b} = \left(\frac{r_c}{r_b}\right)^4.\frac{L_b}{L_c}.$$

Die Werte von $L_a$, $L_b$ und $L_c$ können aus Tabelle 5 entnommen werden und es ergibt sich:

$$\frac{V_b}{V_a}.\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^4 = \frac{4}{3}, \quad \frac{V_c}{V_a}.\left(\frac{r_a}{r_c}\right)^4 = 2, \quad \frac{V_c}{V_b}.\left(\frac{r_b}{r_c}\right)^4 = \frac{3}{2}.$$

Wenn die aus der Beobachtung gewonnenen Werte von $V_a$, $V_b$ und $V_c$, sowie die Werte von $r_a$, $r_b$ und $r_c$ die vorstehenden drei Bedingungsgleichungen identisch erfüllen, so kann die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes, soweit sich dasselbe auf die Dimensionen der drei Kapillaren bezieht, als erwiesen betrachtet werden. Durch die Faktoren

$$\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^4, \quad \left(\frac{r_a}{r_c}\right), \quad \left(\frac{r_b}{r_c}\right)^4$$

werden in den oben gebildeten Verhältnissen die Ausflussmengen auf gleichen Radius der Kapillaren reduziert. Wir geben hier die Logarithmen dieser Reduktionsfaktoren:

$$\text{Log}\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^4 = 0.94268—1$$

$$\text{Log}\left(\frac{r_a}{r_c}\right)^4 = 0.96040—1$$

$$\text{Log}\left(\frac{r_b}{r_c}\right)^4 = 0.01772$$

## Darstellung eines Versuchs. Resultate.

Unter die knieförmig abwärts gebogenen, aus dem Blechkasten herausragenden Enden der den Kapillaren vorgeschmolzenen Glasröhren, wurde je ein kleines, zuvor sorgfältig gereinigtes und abgewogenes Becherglas gestellt.

Zeitpunkt des Untersetzens: Dez. 15., $11^h$ vormittags.
Zeitpunkt des Entfernens: Dez. 16., $2^h$ nachmittags.
Somit Versuchsdauer = 27 Stunden.

Die Druckänderung war in dieser Zeit so gering, dass sie am Quecksilbermanometer gar nicht abgelesen werden konnte. Vor und nach dem Versuch zeigte es denselben Druck von 12 mm an. Hingegen stand der Schwimmer, von dem oben die Rede war, am Ende des Versuches um 2 mm tiefer als am Anfang. Da am Ende des Versuchs eine etwas geringere Temperatur des Ricinusöls abgelesen wurde als am Anfang, so konnte dieses Sinken des Schwimmers in diesem Falle nur von einer Änderung des Niveaus herrühren.

Von Zeit zu Zeit, wegen der langen Versuchsdauer leider nicht regelmässig, wurde die Temperatur abgelesen. Als Normalthermometer diente bei diesen, wie überhaupt bei allen Temperaturmessungen, das von der technischen Reichsanstalt in Berlin geprüfte Thermometer Nr. 5167 von Leybold Nachfolger Köln, das eine von —22° C bis 56° C reichende Skala trug und in Fünftelgrade eingeteilt war. Die folgende Tabelle gibt ein Bild von dem ungefähren Verlauf der Temperaturschwankungen innerhalb der Versuchsdauer.

**Tabelle 7.**

| Beobachtungszeit | Temp. °C |
|---|---|
| Dez. 15., vorm. $11^h$ $0^m$ | 7.7 |
| $12^h$ $0^m$ | 7.8 |
| nachm. $1^h$ $0^m$ | 7.8 |
| $2^h$ $30^m$ | 7.8 |
| $3^h$ $0^m$ | 7.8 |
| $4^h$ $0^m$ | 7.6 |
| Dez. 16., vorm. $8^h$ $0^m$ | 6.4 |
| $9^h$ $45^m$ | 6.4 |
| nachm. $1^h$ $30^m$ | 6.6 |
| $2^h$ $0^m$ | 7.0 |

Aus dieser Tabelle erhalten wir über den Verlauf der Temperaturänderung in der Nacht vom 15. auf den 16. Dezember keinerlei Aufschluss. Um sich auch hierüber wenigstens einigermassen zu orientieren, wurde über Nacht ein Maximum- und Minimumthermometer in den Apparat eingehängt. Es ergab sich für die Zeit von 4 Uhr nachmittags bis 8 Uhr vormittags als höchste Temperatur 7,6° C, als tiefste 5,9° C.

Da es bei diesen mit Apparat I ausgeführten Messungen nur auf die Untersuchung des Einflusses der Kapillardimensionen auf die Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls abgesehen war, so ist, da alle Kapillaren gleichmässig davon betroffen werden, ein Schwanken der Temperatur bedeutungslos, und konnte es sich hier bloss um eine Schätzung der mittleren Versuchstemperatur handeln. Diese betrug in dem vorliegenden Falle ungefähr 7° C.

Als Resultat der Wägungen ergaben sich die bereits in Tabelle 6 angeführten Werte:

$$V_a = 9.164 \text{ g}$$
$$V_b = 14.052 \text{ g}$$
$$V_c = 20.333 \text{ g}$$

und wir erhalten für die oben aufgeführten Verhältnisse:

$$\frac{V_b}{V_a} \cdot \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^4 = 1.343 \text{ statt } 1.333$$
$$\frac{V_c}{V_a} \cdot \left(\frac{r_a}{r_c}\right)^4 = 2.025 \text{ statt } 2.000$$
$$\frac{V_c}{V_b} \cdot \left(\frac{r_b}{r_c}\right)^4 = 1.507 \text{ statt } 1.500$$

Die Abweichung dieser Verhältnisse von den theoretisch verlangten Werten beträgt somit eine bis zwei Einheiten der zweiten Dezimalen, also etwa 1 %. Diese Abweichung lässt sich nur zum Teil erklären aus dem bereits oben erörterten Fehler in der genauen Bestimmung der Ausflussgeschwindigkeit. Es soll untersucht werden, in welchem Grade dieser Fehler in die hier zu berechnenden Verhältnisse eingeht.

Es seien $V_1$ und $V_2$ die Ausflussmengen zweier Kapillaren von gleicher Weite, deren Längen sich verhalten wie $m : n$. Alsdann verlangt die Theorie:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n}{m}.$$

Es sei nun $V_1$ gegenüber $V_2$ um das Gewicht zweier Tropfen zu gross oder zu klein, es seien also die wirklich beobachteten Ausflussmengen

$$V_1 \pm 2\gamma \text{ und } V_2,$$

worin $\gamma$ das Gewicht eines einzelnen Tropfens bedeutet. Das gesuchte Verhältnis ist alsdann:

$$\frac{V_1 + 2\gamma}{V_2} = \frac{n}{m} \pm \frac{2\gamma}{V_2}.$$

Die Abweichung des theoretischen Wertes von dem gefundenen Wert des Verhältnisses ist somit:

$$\Delta = \pm \frac{2\gamma}{V_2}.$$

Das Gewicht eines einzelnen Tropfens $\gamma$ ist oben angegeben und wir erhalten als mutmasslichen Fehler der beiden ersten Verhältnisse:

$$\Delta = 0.008$$

und für das dritte Verhältnis ergibt sich:

$$\Delta = 0.005.$$

Die Unsicherheit beträgt somit in diesem speziellen Fall 0,5 bis 1 Einheit der zweiten Dezimale. Damit ist die Genauigkeitsgrenze bestimmt, die in der zweiten Dezimale erreicht ist. Jedenfalls ist ein erheblicher Teil der beobachteten Abweichung darauf zurückzuführen, dass die Voraussetzung eines kreisförmigen Querschnittes der Kapillaren wohl nur in den allerseltensten Fällen vollkommen zutrifft.

Wir geben nun eine tabellarische Zusammenstellung der mit Apparat I erhaltenen Resultate (S. 29). In der Tabelle sind jeweilen die 100fachen Werte der berechneten Verhältnisse angegeben.

Das Resultat, das wir aus diesen Beobachtungen und deren Folgerungen zu ziehen zweifellos berechtigt sind, ist:

Das Poiseuillesche Gesetz, soweit es sich auf die Abhängigkeit der inneren Reibung von der Länge und dem Durchmesser der Kapillaren bezieht, hat auch für Ricinusöl strenge Gültigkeit.

**Tabelle 8.**

| Nr. | Zeit Std. | Druck Hg mm | Mittl. Versuchs-temp. °C | $V_a$ g | $V_b$ g | $V_c$ g | $10^2 \frac{V_b}{V_a} \cdot \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^4$ 133 | $10^2 \frac{V_c}{V_a} \cdot \left(\frac{r_a}{r_c}\right)^4$ 200 | $10^2 \frac{V_c}{V_b} \cdot \left(\frac{r_b}{r_c}\right)^4$ 150 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8.0 | 39.5 | 7.5 | 8.295 | 12.493 | 18.120 | 132 | 199 | 151 |
| 2 | 23.0 | 39.5 | — | 19.817 | 29.450 | 42.836 | 130 | 198 | 151 |
| 3 | 7 | 39.5 | 9.5 | 8.800 | 13.058 | 19.028 | 130 | 197 | 151 |
| 4 | 18 | 39.5 | — | 20.004 | 29.742 | 43.519 | 130 | 198 | 152 |
| 5 | 7 | 39.3 | 10.0 | 9.084 | 13.763 | 19.974 | 133 | 200 | 151 |
| 6 | 12 | 39.3 | — | 14.458 | 22.065 | 31.893 | 134 | 201 | 150 |
| 7 | 9 | 39.2 | 10.0 | 11.461 | 17.641 | 25.508 | 135 | 202 | 150 |
| 8 | 22 | 10.0 | — | 6.586 | 10.254 | 14.579 | 136 | 202 | 148 |
| 9 | 17 | 12.0 | 8.0 | 6.277 | 9.727 | 13.953 | 136 | 202 | 149 |
| 10 | 27 | 12.0 | 7.0 | 9.164 | 14.052 | 20.333 | 134 | 202 | 150 |
| 11 | 24 | 12.0 | 6.0 | 7.241 | 11.103 | 15.946 | 134 | 201 | 149 |
| 12 | 4 | 12.0 | 20.0 | 4.532 | 6.782 | 9.775 | 131 | 197 | 149 |
| 13 | 5 | 11.0 | 38.5 | 19.598 | 30.521 | 42.859 | 136 | 199 | 147 |
| 14 | 6 | 12.0 | 16.3 | 4.991 | 7.750 | 10.857 | 136 | 198 | 146 |
| | | | | | | Mittelwerte: | 133.4 | 199.7 | 149.6 |

Die Aufgabe die nun noch zu lösen blieb, war, auch den Einfluss des Druckes auf die Ausflussgeschwindigkeit des Öles zu studieren; dabei durfte auch gehofft werden, dass es gelingen würde, für die, wie vorauszusehen, sich wesentlich verkürzende Versuchsdauer, die Temperatur konstant zu halten, so dass sich auch der Einfluss der Temperatur in vergleichbarer Weise feststellen lassen würde. In seiner allgemeinen Anlage entsprach

## Apparat II

durchaus den für I geltenden Grundsätzen. Wir geben davon eine an Ort und Stelle aufgenommene Originalphotographie (Tafel I) und eine Zeichnung (Tafel II, Fig. 2) zur übersichtlicheren Wiedergabe der Einzelheiten. Der grosse Kolben $R$ diente wie $A$ im ersten Apparat als Reservoir; sein unterer Hals $u$ lief in eine zweizinkige fast horizontal gestellte Gabel aus, von der jeder Zinken durch einen, dem anderen völlig gleichlangen Gummischlauch von wieder etwa etwa 6 mm lichter Weite, mit einer der Kapillaren verbunden war. Es war wieder dafür Sorge getragen, dass die Gummischläuche genau gleich weit über die Zinken und gerade so weit über die Kapillaren gestülpt

waren, dass der Weg, den das Öl bis zu den Kapillaren durch die Gummischläuche zurückzulegen hatte, genau gleich lang war.

Kahlbaum hat schon früher angegeben,[1]) dass man bequemerweise gewöhnlichen Gummischlauch in sogenannten Druckschlauch verwandeln kann, wenn man ihn mit dem bekannten, jetzt in der Elektrotechnik allenthalben verwendeten Isolierband umwickelt. Dieses Verfahren wurde auch hier in Dienst gestellt und hat sich durchaus bewährt. Es waren, da zu befürchten stand, dass die Schläuche durch die hohen Drucke an den glattwandigen Kapillaren heruntergeschoben werden konnten, die Isolierbänder noch zum Teil mit über die Glasteile gewickelt, so dass auf diese Weise die Schläuche völlig fest gehalten wurden, und, wie nachträglich kontrolliert wurde, auch nicht ein Tröpfchen Öl zwischen den Glas- und Gummiwänden hindurch gedrungen war. Da die Stellen, bis zu denen die Schläuche übergestülpt werden mussten, mit öllöslichem Farbstift markiert worden waren, liess sich das genau nachweisen. Dem vorderen Ende der Kapillaren waren wieder, wie in Apparat I, knieförmig, hier aber, um die Kapillaren näher aneinander zu bringen, doppelknieförmig gebogene weitere Glasröhren, die durch Gummizapfen und Stutzen in das Wasserbad führten, angeschmolzen.

Die Temperaturänderung wurde auch hier in gleicher Weise wie beim ersten Apparat geregelt, auch hier war für beständigen Ab- und Zufluss gesorgt, und wurde das Wasser beim langsamen Zuströmen durch eine fast 4 m lange Leitung im Bade selbst vorgewärmt. Um ganz sicher zu sein, dass in beiden Kapillaren das Öl während des Durchströmens genau die gleiche Temperatur hatte, waren diese, desshalb die doppelte knieförmige Biegung, noch durch ein sie frei umgebendes, etwa 2 cm im Lichten weites, beidseitig offenes Glasrohr *Gl* geführt. Die Temperaturen wurden an drei geprüften Thermometern gemessen, von denen zwei sich, rechts und links eines, in unmittelbarer Nähe der Kapillaren in Ricinusöl tauchend befanden, das dritte war gegen *R* zu an das andere Ende der Kapillaren gerückt, zwischen diesen befand sich, für höhere Temperaturen, der nach Lothar Meyers Prinzip[2]) konstruierte Thermoregulator. —

---

[1]) Glossen zu der selbsttätigen Quecksilberluftpumpe. Drudes Ann. d. Phys. u. Chemie. 4. F. 6. Bd. S. 590.

[2]) Lothar Meyer. Ueber Luftbäder. Ber. d. Deutschen Chem. Gesellsch. 1883, p. 1087. Georg W. A. Kahlbaum. Thermoregulator. Ebendiese Berichte, 1886, p. 2860.

Soweit die für den Ausfluss des Öles und die Konstanz der Temperatur wichtigen Teile des Apparates II; gehen wir nun zu einer Beschreibung jener Teile über, die der Änderung und dem Konstanthalten des Druckes gewidmet waren.

Da Schlauchverbindungen bei dem Apparate nicht zu vermeiden waren, wurde zunächst geprüft, bis zu welchem Druck hält ein, mit einem sauber ausgezogenen Glasstab verschlossener, natürlich völlig runder, nahtfreier, dickwandiger Gummischlauch dicht. Die Prüfung wurde so ausgeführt, dass ein etwa 1 m langes, unten auf besagte Weise verschlossenes Stück Schlauch senkrecht aufgehängt wurde und langsam durch einen spitz ausgezogenen Trichter mit Quecksilber gefüllt wurde. Das Herausquellen kleiner Quecksilbertröpfchen und das Aufhören dieser Erscheinung erlaubte den gesuchten Druck mit ausreichender Sicherheit zu bestimmen. Derselbe fand sich bei dem von uns benutzten Material bei etwa 400 mm. Nun ist es ja zweifellos nicht das gleiche, ob ein Verschluss luftdicht oder Quecksilberdicht zu halten hat, — und unser Apparat hatte luftdicht zu schliessen — aber ein ungefährer Anhalt, wie hoch man die Anforderung spannen darf, ist doch gegeben, und das umsomehr, als dieser erste Versuch ohne Anwendung irgend welcher besonderer Dichtungsmittel, die alle im günstigen Sinne wirken, angestellt wurde. Es hat sich denn auch gezeigt, dass trotz der vielfachen Verbindungsstellen, es waren deren im ganzen 14 nicht verschmolzene Verbindungen, der Apparat bis zu diesem Überdruck von 400 mm dicht hielt.

Die Dichtungen wurden nach der schon früher von Kahlbaum angegebenen Weise ausgeführt. Da wo ein Gummischlauch an Glasrohr zu dichten war, wurde das letztere zu einem Perlstab ausgezogen, der Schlauch über diesen und noch ein Stück über das unveränderte Glasrohr weggestülpt. Dann wurde über dieses ganze Schlauchstück stark angezogene Gummischnur, Windung neben Windung, gewickelt und der Schlauch so fest gegen die Glaswandung gepresst. Vorher schon war um das Glasrohr eine durchbohrte, runde, etwa 1 cm dicke Korkscheibe gelegt. Konnte dieselbe aus irgend einem Grunde nicht vorher umgelegt werden, so schnitt man sie doch vorher passend zurecht, halbierte sie senkrecht zur Grundfläche, und legte die beiden Hälften um, sie nachher mit Tischlerleim zusammenklebend

oder zusammenbindend. Um diese Korkscheibe wurde dann ein je nachdem 4 oder mehr cm hoher Streifen Kartonpapier befestigt, oder wo es möglich war, ein passendes Stück abgesprengten Glasrohres gelegt, so dass um einen Teil des nackten Glasrohres, an dem Schlauchende vorüber und den ganzen umwickelten Teil desselben umspannend, ein Papierbecher resp. Glasbecher mit Korkboden entstand. Derselbe wurde zunächst mit etwas Quecksilber, sodann mit dem ebenfalls schon früher empfohlenen, geschmolzenen Flomenfett[1]) gefüllt und dann dieses erstarren gelassen. Da das Fett, — darum wurde es empfohlen — sich beim Erstarren nicht zusammenzieht, so bildet es eine fest anliegende luftdicht abschliessende Schicht, die sich trefflich bewährt, und da es andererseits doch erst bei etwa 40° C schmilzt, so kann es bei gewöhnlicher Temperatur auch für horizontale Verschlüsse verwendet werden, die nur bis zum völligen Erstarren aufrecht gestellt bleiben müssen. Die gleichen Papierbecherverschlüsse wurden auch da benutzt, wo durchbohrte Gummizapfen sowohl in dem Glasstutzen als auch mit dem durchgesteckten Glasrohr gedichtet werden sollten. Fig. 5 in Tafel II veranschaulicht einen solchen Papierbecherverschluss. Bei den Glasschliffen kamen, wie schon oben gesagt, die Kahlbaumschen Quecksilberverschlüsse zur Verwendung, doch mussten dieselben hier dem Überdruck, den sie auszuhalten hatten, adaptiert werden.

Ein solcher Schliff ist als Figur 4 in Tafel II wiedergegeben. Um den Becher des Stempels *St*, wie um die Erweiterung der Matrize *m* waren Filzringe $fe_1$ und $fe_2$ gelegt, gegen die durchlöcherte und den Filzringen entsprechend ausgekehlte Hartgummiplatten pressten, die je nach der Möglichkeit des Überschiebens aus einem oder aus zwei Stücken bestanden. Der Form nach waren es kreisrunde Scheiben, die rechts und links ein Ohr trugen. An den Ohren der unteren Platte waren Haken befestigt, die ein Paar starke Spiralfedern hielten, die wieder zu am oberen Ende mit Gewinden versehenen Stahlstäben führten, die ihrerseits durch die Ohren der oberen Gummiplatte steckten, und auf welche diese Platte mittelst Flügelschrauben angezogen werden konnte. Waren die beiden Schliffstücke fest aufeinander gepresst, so wurde die Hartgummischelle übergelegt, die Flügel-

[1]) Flomenfett, Marke „Schwalbe“ von Kress & Comp., Heilbronn. Vgl. Kahlbaum, Roth und Siedler, Zeitschr. für anorganische Chemie, 1902, Bd. 29, S. 186.

schrauben fest angezogen und der Becher mit Quecksilber gefüllt und auf dasselbe Flomenfett geschüttet.

Diese Verschlüsse sind für das Glas völlig gefahrlos, sie sind leicht umzulegen und abzunehmen und haben, in den von uns gewählten Grenzen, absolut dicht gehalten.

Dies waren die Vorrichtungen, um in dem Apparat den einmal erzielten Druck konstant halten zu können, abgesehen natürlich von der geringen Änderung, die derselbe aus der durch Abfliessen des Ricinusöls resultierenden Änderung des Volumens erlitt. Den Druck zu ändern, dienten die beiden Woolfeschen Flaschen $D_1$ und $D_2$ (Fig. 2 Tafel II), die mittelst eines dickwandigen Schlauches, der noch durch Umwicklung mit Isolierband verstärkt war, verbunden waren. $D_1$ war verstellbar, $D_2$ stand fest. Beim Beginn der Beobachtungen war $D_1$ mit Quecksilber gefüllt und $D_2$ stand leer. Wurde $D_1$ über das Niveau von $D_2$ gehoben, so lief das Quecksilber durch den Schlauch nach $D_2$ und presste die Luft in den Apparat hinein und diese direkt auf das Ricinusöl, das dann unter dem betreffenden Druck stand und ausfloss. Wurde $D_1$ wieder gesenkt, so dehnte sich die Luft aus und presste das Quecksilber nach $D_1$ zurück. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass der Apparat völlig dicht schliesst, diese Voraussetzung war aber, wie gesagt, erfüllt.

Gemessen wurde der Druck an dem Manometer $M_2$. Dasselbe war mit dem Luftzuleitungsrohr $z$, das in die Matritze $m$ des grossen den oberen Hals $o$ des Reservoirs $R$ abschliessenden Schliffes mündete, durch einen Schlauch verbunden, gab also direkt den auf dem Öl lastenden Luftdruck an. Diesem war noch der Eigendruck des Ricinusöls hinzu zu addieren. Die Höhe dieser Ölsäule war von der Strichmarke $a$—$b$ auf dem Reservoir $R$ an ein für allemal gemessen. Die kleinen Niveauschwankungen in $R$ wurden von $a$—$b$ aus bestimmt. Die Glasteilung in mm auf $M_2$ war verglichen und die senkrechte Stellung wurde stets mittels Senkbleies kontrolliert; abgelesen wurde mit Lupe und schwarz-weissem Visierpapier. Zum Nachfüllen des Öls trug $R$ noch einen, mittelst Schliffes verschliessbaren Stutzen $st$, dessen Matrize nicht geschlossen war, sondern, wie Fig. 3 in Tafel II zeigt, in ein nach oben führendes Rohr auslief, das über eine Schlauchverbindung $Sch_1$ zu dem kleinen Reservoir $r$ führte, das seinerseits in gleicher

Weise wie der Stutzen *st* geschlossen über eine weitere Schlauchverbindung $Sch_2$ zu dem Luftzuleitungsrohr *z* leitete. Beide Schlauchverbindungen $Sch_1$ und $Sch_2$ konnten mit Klemmen abgeschlossen werden. Diese Anordnung war gewählt, um *r* ganz unabhängig vom Druck im Apparat füllen zu können. Hierbei wurden die Klemmen an $Sch_1$ und $Sch_2$ geschlossen, darauf das Quecksilber aus dem Becher gezogen, die Schelle gelockert, entfernt und der Schliff langsam geöffnet. Dann wurde neues Öl eingefüllt, der Schliff wieder sorgfältig geschlossen, Quecksilber in den Becher getan und die Schelle angelegt. Nun wurde die Klemme an $Sch_2$ vorsichtig geöffnet, damit sich der Druck ausgliche. Wenn man nun die Klemme an $Sch_1$ öffnete, so floss, da oben und unten der gleiche Druck, das Öl langsam durch den Stutzen *st* nach *R*. Durch diesen Stutzen und den von ihm getragenen Schliff war noch ein Trichterrohr *T*, das zu einer Spitze ausgezogen war, gesteckt, so dass mit Hülfe der Klemme an $Sch_1$ der Zufluss so geregelt werden konnte, dass er ungefähr dem Abfluss durch die Kapillaren, der bei höheren Temperaturen und Drucken erheblich beschleunigt war, entsprach, und auf diese Weise auch der Eigendruck des Ricinusöls so gut wie völlig konstant gehalten werden konnte.

Regulierung und Messung der Temperaturen fand auf gleiche Weise wie in Apparat I statt, nur sei bemerkt, dass bei den zur Verwendung kommenden höheren Temperaturen das fliessende Wasser in einem Hugershoffschen Dampfüberhitzer vorgewärmt wurde. —

Die ihm gestellten Aufgaben hat der so konstruierte Apparat zu vollster Zufriedenheit gelöst, so dass wir jetzt zu einem Bericht über die erzielten Resultate und zu ihrer Mitteilung übergehen können. Vorbemerkungen sind hier keine mehr zu machen, da alles Notwendige schon im ersten Teil gesagt wurde; nur eine Korrektur tritt hier neu hinzu und diese muss wohl vorgenommen werden, da sie in die mit Apparat II zu erzielenden Resultate eingeht. Es ist das die Bestimmung des Eigendruckes des Ricinusöls und die hierfür nötige Festlegung der

**Dichte desselben und ihrer Abhängigkeit von der Temperatur.**

Wir haben schon darauf hingewiesen, dass zu den am Manometer abgelesenen Drucken noch der Eigendruck des Ricinusöls hinzu zu addieren

ist. Dieser Druck wechselt aber, auch wenn die Höhe konstant bleibt, mit der Beobachtungstemperatur, weil diese die Dichte beeinflusst. Um zu wissen, von welcher Grössenordnung die anzubringende Korrektur sei, musste also die Dichte des Ricinusöls überhaupt und dann in zweiter Linie deren Änderung mit der Temperatur bestimmt werden.

Bei der ungeheuren Zähigkeit des Öles war natürlich eine Bestimmung des spezifischen Gewichtes in einem der gewöhnlichen Flaschenpyknometer ganz ausgeschlossen. Es wurde daher ein solches Pyknometer, wie es bei der Nahrungsmitteluntersuchung für die Bestimmung der Fette im Gebrauch ist, d. h. ohne Thermometer und mit weitem offenem Stöpselrohr, das in halber Höhe etwa die Marke trägt, verwandt. Ein Fehler durch Verdampfen ist nicht zu befürchten, wie wir gesehen haben, die Schwierigkeit beruht also allein darin, über die Temperatur, bei der das Öl genau bis zur Marke das Gefäss anfüllt, vollkommene Sicherheit zu erreichen. Zu dem Ende ist es nötig, die Temperatur des Ricinusöls, das man ja im Pyknometer nicht rühren kann, also schon die der umgebenden Schicht ausserordentlich langsam zu ändern, und wird man am besten so arbeiten, dass man bei steigender und sinkender Temperatur beobachtet, wann das Öl im Pyknometer genau bis zur Marke reicht.

Das langsame und gleichmässige Ändern der Temperatur wurde dadurch zu erreichen gesucht, dass das Pyknometer von einer dreifachen Wasserschicht umgeben war, deren äusserste durch, in einem kleinen Blechkessel entwickelten Wasserdampf erhitzt wurde. In dem weiten Glasgefäss, in dem das geschah, stand frei ein zweites ähnliches, doch erheblich weniger weites und in diesem endlich ein drittes ebenfalls freigestelltes, dessen Dimensionen sich zu denen des zweiten verhielten, wie diese zu denen des ersten. In dem dritten befand sich, wiederum auf einem Dreifuss freistehend, das Pyknometer und dicht dabei, mit der Kugel etwa in der Höhe der Mitte desselben, das Thermometer. In den Bechergläsern 2 und 3 wurde das Wasser möglichst ständig durch ringförmige Rührer bewegt.

Bevor man aber zu den eigentlichen Dichtebestimmungen übergehen konnte, musste zuerst das „Volumen“ des Pyknometers und dessen Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt werden. Das Pyknometer wurde zunächst durch Auswaschen mit Äther, Alkohol und destilliertem

Wasser sorgfältig gereinigt und im warmen Luftstrom getrocknet; hernach wurde das Gewicht des leeren Pyknometers bestimmt. Es ergab sich bei der

| | |
|---|---|
| 1. Wägung . . . | 23.3313 g |
| 2. „ . . . | 23.3315 g |
| Mittel: | 23.3314 g |

Beide Wägungen standen zeitlich um 24 Stunden auseinander. Während dieser Zeit stand das Pyknometer im Exsiccator.

Nun wurde in das Pyknometer ausgekochtes, zwei mal destilliertes Wasser eingefüllt. Das Niveau des in das gläserne Stöpselrohr hinaufreichenden Wassers wurde so reguliert, dass dasselbe etwas tiefer stand, als die auf diesem Stöpselrohr angebrachte Marke.

Waren alle diese Vorbereitungen erledigt, so wurde das Pyknometer in das oben beschriebene Wasserbad eingestellt und hierauf die Temperatur langsam gesteigert. Sobald nun das Wasser die Marke erreichte, wurde die Temperatur abgelesen und alsdann die Erwärmung unterbrochen. Das Niveau stieg kurze Zeit noch weiter, um dann wieder zu sinken. Hierbei wurde zum zweitenmal die Temperatur abgelesen. Es wurde z. B. beobachtet:

| | |
|---|---|
| Stand des Thermometers bei steigender Temperatur . | 42,6° C |
| „ „ „ „ fallender „ . | 41,0° C |
| Mittelwert: | 41,8° C |

Da bei steigender Temperatur die wirkliche Temperatur des Wassers im Pyknometer jedenfalls geringer, bei sinkendem dagegen höher als die am Thermometer abgelesene Temperatur ist, so erscheint das aus beiden Beobachtungen gewonnene Mittel als ein hinreichend zuverlässiger Wert.

Gewicht des mit Wasser gefüllten Pyknometers:

| | |
|---|---|
| vor der Erwärmung . . . . . | 73.3871 g |
| nach „ „ . . . . . | 73.3794 g |
| Im Mittel: | 73.3832 g |

Beide Wägungen lagen etwa 120 Minuten auseinander; in dieser Zeit betrug also der Gewichtsverlust durch Verdampfung des Wassers 0.0077 g.

| | |
|---|---|
| Pyknometer + Wasser . . . . . | = 73.383 g |
| Leeres Pyknometer . . . . . | = 23.331 g |
| Differenz | = 50.052 g |

Reduktion auf den leeren Raum[1]) 50.0,001293 g = 0.065 g
Gewicht des Wassers . . . . . = 50.117 g
Dichte desselben bei 42° C[2]) . . . . . = 0.99157
Volumen des Pyknometers bei dieser Temperatur = 50.543 cm³.

Solcher Beobachtungen sind im ganzen vier ausgeführt worden.

**Tabelle 9.**

| Temp. °C | Volumen des Pyknometers cm³ |
|---|---|
| 4.5 | 50.489 |
| 16.0 | 50.500 |
| 33.0 | 50.528 |
| 42.0 | 50.543 |

Trägt man diese vier Beobachtungen in ein Koordinatennetz ein, so liegen die erhaltenen Punkte ziemlich genau in einer geraden Linie; es muss sich daher die Abhängigkeit zwischen Pyknometervolumen $v$ und der Temperatur $\Theta$ darstellen lassen durch die folgenden Interpolationsformel:

$$v = v_o + a.\Theta,$$

worin $v_o$ und $a$ Konstante bedeuten. Die nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Werte dieser Grössen sind:

$$v_o = 50{,}480, \quad a = 0.0014702.$$

Hieraus ergibt sich der kubische Ausdehnungskoeffizient des Pyknometers

$$\alpha = \frac{a}{v_o} = 0.0000291.$$

Nun konnte zu den eigentlichen

## Dichtebestimmungen

übergegangen werden. Etwas schwierig gestaltete sich das Füllen des Pyknometers, indem die im Öl gelöste, nicht unbeträchtliche Luftmenge durch Auskochen nicht völlig entfernt werden konnte. Beim Stehenlassen

[1]) Gewicht des Wassers ca. 50 g, Volumen somit ca. 50 cm³. Auftrieb in Luft = 50.0,001293 g, da 1 cm³ Luft 0,001293 g wiegt.

[2]) Landolt u. Börnstein, phys.-chem. Tabellen, 1894, 2. Aufl.

des mit Öl gefüllten Pyknometers bildeten sich kleine Luftbläschen in grosser Zahl, die erst bei längerem Stehenlassen im Vakuum, sich von den Wandungen lösend, emporstiegen.

Es sei nun auch hier eine Beobachtung mitgeteilt:

| | |
|---|---|
| Stand des Thermometers bei steigender Temperatur . | 17.8° C. |
| „ „ „ „ fallender „ . | 16.0° C. |
| Mittelwert der Temperatur: | 16.9° C. |

Die Bestimmung der Temperatur ist, wie ersichtlich, mit einer gewissen Unsicherheit behaftet; doch ist der Fehler nur von geringem Belang, da, wie aus Tabelle 10 ersichtlich, ein Fehler von 1° C in der Bestimmung der Temperatur, die Dichte nur um eine Einheit der dritten Dezimalen, also etwa um 1‰ beeinflusst.

Gewicht des mit Öl gefüllten Pyknometers:

| | |
|---|---|
| vor der Erwärmung . . . . . | 71.8674 g |
| nach „ „ . . . . . | 71.8669 g |
| Mittel: | 71.867 g |
| Gewicht des leeren Pyknometers . . . . . | 23.331 g |
| Differenz: | 48.536 g |
| Reduktion auf den leeren Raum . . . . . | 0.065 g |
| Gewicht des Öles . . . . . | 48.601 g |

Durch Interpolation wurde erhalten:

Volumen des Pyknometers bei 17° C . . . . 50.505 cm³,

woraus Dichte des Ricinusöls bei dieser Temperatur:

$$\delta_{17} = 0.9623.$$

Dieses Resultat zeigt genügende Übereinstimmung mit den von Wachsmuth[1]) gefundenen Zahlen, der die Dichte des Ricinusöls zu 0,961 bestimmt hat. Bei welcher Temperatur diese Bestimmung vorgenommen wurde, ist in der betreffenden Arbeit leider nicht angegeben.

Auf diesem hier angegebenen Wege wurden die folgenden Resultate gewonnen.

---

[1]) Wachsmuth, Untersuchungen auf dem Gebiete der inneren Wärmeleitung. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1893, Bd. 48, S. 158.

**Tabelle 10.**

| Temp. ° C | Dichte | Temp. ° C | Dichte |
|---|---|---|---|
| 7.0 | 0.9693 | 26.8 | 0.9559 |
| 12.7 | 0.9654 | 31.0 | 0.9526 |
| 17.0 | 0.9623 | 33.8 | 0.9505 |
| 19.2 | 0.9609 | 39.0 | 0.9472 |
| 23.5 | 0.9579 | 42.0 | 0.9452 |

Trägt man diese Beobachtungen in ein Koordinatennetz auf, so zeigt sich, dass auch diese Punkte ziemlich genau auf einer geraden Linie liegen. Die Abhängigkeit der Dichte $\delta$ von der Temperatur $\Theta$ muss sich daher durch die folgende Interpolationsformel geben lassen:

$$\delta = \delta_o - b \,.\, \Theta.$$

Die zur Berechnung der Konstanten $\delta_o$ und $b$ auch hier wieder benutzte Methode der kleinsten Quadrate führt auf die folgenden Normalgleichungen:

$$\delta_o \,.\, n - b \,.\, [\Theta] = [\delta]$$
$$\delta_o [\Theta] - b \,.\, [\Theta^2] = [\delta\,\Theta].$$

Die mit eckigen Klammern versehenen Grössen bedeuten Summen und es ergibt sich:

$$[\Theta] = 252.$$
$$[\delta] = 9.5672.$$
$$[\Theta^2] = 7526.86.$$
$$[\delta\,\Theta] = 240.2784.$$

Man erhält:

$$\delta_o = 0.97417.$$
$$b = 0.00069255.$$

Aus diesen Zahlen lässt sich der **kubische Ausdehnungskoeffizient des Ricinusöls** berechnen; für 20° C findet man:

$$\alpha = 0.000721.$$

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der durch Interpolation gewonnenen Dichten des Ricinusöls von Grad zu Grad, innerhalb

derjenigen Temperaturgrenzen, innerhalb deren sich die mit Apparat II vorgenommenen Beobachtungen bewegen.

**Tabelle 11.**

| $\Theta$ °C | $\delta$ | $\Theta$ °C | $\delta$ | $\Theta$ °C | $\delta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0.9693 | 19 | 0.9610 | 31 | 0.9527 |
| 8 | 0.9686 | 20 | 0.9603 | 32 | 0.9520 |
| 9 | 0.9679 | 21 | 0.9596 | 33 | 0.9513 |
| 10 | 0.9672 | 22 | 0.9589 | 34 | 0.9506 |
| 11 | 0.9665 | 23 | 0.9583 | 35 | 0.9499 |
| 12 | 0.9659 | 24 | 0.9576 | 36 | 0.9492 |
| 13 | 0.9652 | 25 | 0.9569 | 37 | 0.9485 |
| 14 | 0.9645 | 26 | 0.9562 | 38 | 0.9478 |
| 15 | 0.9638 | 27 | 0.9555 | 39 | 0.9471 |
| 16 | 0.9631 | 28 | 0.9548 | 40 | 0.9464 |
| 17 | 0.9624 | 29 | 0.9541 | 41 | 0.9457 |
| 18 | 0.9617 | 30 | 0.9534 | 42 | 0.9451 |

Ist $h$ der in cm gemessene Höhenunterschied des Ölniveaus im Apparat gegenüber der Achse des Kapillarrohres, so ist

$$\gamma_\Theta = h . \delta_\Theta$$

der in g/cm$^2$ ausgedrückte Eigendruck des Ricinusöls bei der Temperatur $\Theta$. Dieser muss zu dem am Manometer abgelesenen Druck der komprimierten Luft noch hinzuaddiert werden. Durch direkte Messung wurde gefunden:

$$h = 17.7 \text{ cm}$$

und man erhält

bei 7 ° C: $\gamma = 12.6$ mm Quecksilber,
„ 42 ° C: $\gamma = 12.3$ mm „

Bei der immerhin doch nur näherungsweise genauen Messung des Druckes dürfen wir die Differenz von 0.3 mm im Maximum vernachlässigen und als Korrektur für den Eigendruck des Öles **12,5 mm** setzen.

## Beobachtungen in Apparat II.

Zur Bestimmung des Einflusses von Druck und Temperatur auf die Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls wurde der Weg serienweiser Beobachtung eingeschlagen. Mit Hülfe des bereits oben erwähnten Thermoregulators konnte die Temperatur stundenlang bis auf Schwankungen von $^1/_{10}{}^0$ C konstant gehalten werden, und es wurde nun während dieser Zeit eine Reihe von Versuchen bei wechselnden Drucken ausgeführt. Gewöhnlich wurde mit einem hohen Drucke, im Maximum 400 mm begonnen, um bei jeder folgenden Beobachtung mit dem Druck um ein bestimmtes herunterzugehen. Während der Dauer eines einzelnen Versuchs war der Druck allerdings nicht völlig konstant. Infolge der mit dem Ausfliessen des Öles verbundenen Vergrösserung des Volumens im Apparat, vielleicht auch, weil die verschiedenen, die einzelnen Teile des Apparates verbindenden Schlauchstücke bei höheren Drucken nicht absolut dicht hielten, waren kleine Druckverminderungen während der Dauer eines Versuches nicht zu vermeiden. Es wurde daher zu Anfang und zu Ende, wie auch während der Dauer eines Versuches, in gleichen Zeitintervallen der Druck abgelesen. Es zeigte sich durchweg, dass gleichen Zeitintervallen auch gleiche Beträge in der Druckverminderung entsprechen. In diesem Falle ist, wie eine einfache mathematische Betrachtung lehrt, die Rechnung mit einem mittleren Drucke völlig einwandfrei.

Apparat II enthielt die beiden Kapillaren $D$ und $E$, deren Dimensionen wir oben angegeben haben. Bedeuten $r_d$ und $r_e$ die Radien der Kapillaren, $V_d$ und $V_e$ die in bestimmter Zeit durch dieselben hindurchgepressten Flüssigkeitsvolumina, so kann uns der Wert des Verhältnisses

$$\frac{V_d}{V_e} \cdot \left(\frac{r_e}{r_d}\right)^4$$

als Massstab für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit einer Beobachtung dienen. Bei der Ermittelung dieses Wertes kommt jedoch eine Korrektion in Betracht, auf welche zuerst Couette[1]) hingewiesen hat. Es findet

[1]) Couette, Études sur le frottement des liquides. Ann. d. Ch. et d. Phys., Serie 6, Tome 21, p. 433, 1890.

nämlich eine Reibung der Flüssigkeit nicht nur im Innern des eigentlichen Kapillarrohres statt, sondern auch unmittelbar vor dem Eintritt und nach dem Austreten aus derselben. Unter Berücksichtigung dieser Flüssigkeitsreibung an den Kapillarenden hat Couette für die Berechnung der Zähigkeit die folgende Formel aufgestellt:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{p \cdot r^4 \cdot t}{V(L + \Delta)} - \frac{\delta V}{8\pi(L + \Delta) \cdot t}.$$

$\Delta$ bedeutet die fiktive Verlängerung der Kapillaren, durch welche der in der Nähe der Enden stattfindenden Reibung Rechnung getragen wird. Couette fand, dass für kleine Ausflussgeschwindigkeiten $\Delta$ konstant und zwar nahezu gleich ist dem dreifachen Durchmesser der Kapillaren.

Dieser Betrachtung liegt jedoch die, auch bei unseren Beobachtungen zutreffende Voraussetzung zu Grunde, dass das Kapillarrohr an den beiden Enden gerade abgeschnitten ist. Erweitert sich die Kapillare allmählich zum Durchmesser der vorgeschmolzenen Glasröhre, so sind die Verhältnisse andere, abgesehen davon, dass in diesem Falle die Länge des Kapillarrohres eine nicht mehr mit Sicherheit zu bestimmende Grösse ist.

Es ist nun jedenfalls nicht angezeigt, die von Couette angegebene Korrektion, die aus Versuchen mit Wasser hergeleitet wurde, ohne weiteres auf unsere mit Ricinusöl angestellten Beobachtungen zu übertragen; denn da die Grösse dieser Korrektion jedenfalls von der Zähigkeit der betreffenden Flüssigkeit und von der Durchflussgeschwindigkeit, also von den äusseren Versuchsbedingungen abhängt, würden wir dadurch den Betrag einer Grösse willkürlich festsetzen, welcher erst zu bestimmen ist.

Wollen wir aus unseren Versuchen, bei denen die Kapillaren $D$ und $E$ parallel nebeneinander geschaltet sind, die Couettesche Korrektionsgrösse berechnen, so müssen wir zunächst eine Voraussetzung machen über die Abhängigkeit dieser Korrektion von der Durchflussgeschwindigkeit. Falls bei beiden Röhren die Zu- und Abflussstellen gleich beschaffen sind, — eine Bedingung die in unserem Falle realisiert ist — so kann man annehmen, dass die Korrektion der mittleren Ausflussgeschwindigkeit proportional ist.

Wir bezeichnen wiederum mit $L_d$ und $L_e$ die Längen der beiden Kapillaren. Bei gleichem Druck und unter Voraussetzung gleicher Weite derselben, verhalten sich die mittleren Ausflussgeschwindigkeiten $v_d$ und $v_e$ umgekehrt wie die Längen der Kapillarröhren:

$$\frac{v_d}{v_e} = \frac{L_e}{L_d}$$

Bezeichnen wir nun mit $\Lambda_d$ und $\Lambda_e$ die den Längen $L_d$ und $L_e$ anzubringenden Korrektionen und mit $V_d$ und $V_e$ die in bestimmter Zeit erhaltenen Ausflussmengen, so wird angenommen:

$$\frac{\Lambda_d}{\Lambda_e} = \frac{v_d}{v_e}$$

Somit

$$\frac{\Lambda_d}{\Lambda_e} = \frac{L_e}{L_d}$$

$$\frac{V_d}{V_e} = \frac{L_e + \Lambda_e}{L_d + \Lambda_d}$$

woraus:

$$\Lambda_d = L_e \cdot \frac{V_e L_e - V_d L_d}{V_d L_e - V_e L_d}$$

ferner:

$$\Lambda_e = \frac{L_d}{L_e} \cdot \Lambda_d$$

Den weiter unten folgenden Beobachtungen, die sich alle allein auf das Rohr $D$ beziehen — Rohr $E$ dient als Kontrollrohr — ist der Wert des Verhältnisses

$$\mu = \frac{V_d}{V_e} \cdot \left(\frac{r_e}{r_d}\right)^4$$

beigegeben; es ist dies das Verhältnis der auf gleichen Radius der Kapillaren reduzierten Ausflussmengen. Vorgreifend bemerken wir, dass der Wert von $\mu$ bei sämtlichen weiter unten mitgeteilten Beobachtungen innerhalb der Grenzen 1,95 und 1,99 liegt und dass der Mittelwert dieser Grösse 1,96775 beträgt. Aus diesem Mittelwert lassen sich nun die Couetteschen Korrektionsgrössen berechnen. Wir finden:

$$\Lambda_d = L_e \cdot \frac{L_e - \mu L_d}{\mu L_e - L_d} = 4 \text{ mm}$$

$$\Lambda_e = \frac{L_d \cdot \Lambda_d}{L_e} = 2 \text{ mm}$$

Obwohl die Zähigkeit des Ricinusöls 100 bis 2000 mal so gross ist als diejenige des Wassers bei gleicher Temperatur, so beträgt auffallenderweise die der Länge $L_a$ additiv hinzuzufügende Korrektion $A_a$ ziemlich genau das dreifache des Kapillardurchmessers und hat somit den von Couette angegebenen Wert. Wir müssen daraus den Schluss ziehen, dass der durch die grosse Zähigkeit des Ricinusöls bedingte Mehrbetrag an innerer Reibung an der Ein- und Austrittsstelle der Kapillaren $D$ vollkommen kompensiert wird durch eine entsprechende Reibungsverminderung, welche auf Rechnung des Umstandes zu setzen ist, dass die bei unseren Versuchen mit Ricinusöl in Kapillarrohr $D$ erzielten Durchflussgeschwindigkeiten entsprechend vielmal kleiner sind als die Geschwindigkeiten unter denen Couette seine Versuche mit Wasser anstellte.

Da der Wert des Kontrollverhältnisses $\mu$ zwischen den Grenzen 1,95 und 1,99 um den Mittelwert 1,97 herumschwankt, so beträgt die maximale Abweichung mit 0,02 bloss 1 % und diese lässt sich erklären auf Grund einer bereits oben erwähnten Unsicherheit in der experimentellen Bestimmung der Ausflussgeschwindigkeit.

Konnte uns somit der Umstand, dass der wahre Wert des Kontrollverhältnisses nahe bei 2,00 liegen muss, als Kriterium für das tadellose Funktionieren des Apparates gelten, so musste sich eine Störung jeweils in einer merklichen Änderung dieses Verhältnisses bemerkbar machen. Solche Störungen konnten entweder in Temperaturunterschieden zwischen den beiden Kapillaren, oder in Verunreinigung des Öls ihren Grund haben. War letzteres der Fall, so wurde abgewartet bis das durch die Kapillaren unter möglichst hohem Druck hindurchgepresste Öl die den Reibungswiderstand vergrössernden Partikelchen beseitigt hatte, wozu in der Regel längere Zeit nicht erforderlich war. Unregelmässigkeiten infolge Temperaturunterschiede wurden fühlbar, sobald die Beobachtungstemperatur 40° C überstieg. Aus diesem Grunde, namentlich aber auch deswegen, weil bei höherer Temperatur die Fluidität des Ricinusöls einen Grad erreichte, welcher den vorliegenden Apparat zu weiterer Beobachtung ungeeignet erscheinen liess, wurden die Beobachtungen über ein grösseres Temperaturintervall nicht ausgedehnt.

Da zur Berechnung des Druckes in absolutem Masse die Kenntnis

der Temperatur des im Manometer befindlichen Quecksilbers erforderlich ist, wurde zu Anfang und zu Ende eines jeden Versuchs die Lufttemperatur abgelesen.

Bevor man mit der eigentlichen Beobachtung beginnen konnte, musste zuerst das Wasser auf die gewünschte, mit Hilfe des Regulators konstant zu haltende Temperatur gebracht und durch entsprechendes Höherstellen des Druckgefässes der erforderliche Druck im Apparat erzeugt werden. Waren die gewünschten Bedingungen hergestellt, so wurden den freien Ausmündungen der Kapillaren zwei kleine, zuvor sorgfältig gereinigte und tarierte Bechergläser untergesetzt, deren Inhalt nach der sich auf 10 bis 20 Minuten belaufenden Versuchsdauer durch Wägung ermittelt wurde. Während des Versuchs wurden in regelmässigen Zeiträumen die bereits besprochenen Druck- und Temperaturablesungen vorgenommen. Es möge hier ein Beispiel folgen:

**Beobachtung Nr. 1.**

Serie XIV.

| | Beobachtungszeiten vormitt. | Ablesung des Druckes mm | Temperatur Wasserb. °C | Temperatur Luft °C |
|---|---|---|---|---|
| Bechergläser untergesetzt | 11.05 | 118.0 | 29.8 | 26.0 |
| | 11.10 | 116.0 | 29.8 | — |
| | 11.15 | 114.0 | 29.8 | — |
| entfernt | 11.20 | 112.0 | 29.8 | 26.0 |

Somit:

Beobachtungszeit . . . . . = 15 Min.
Mittlerer Druck . . . . . = 115 mm
Mittlere Temperatur des Öles = 29.8 ° C
Temperatur der Luft . . . = 26.0 ° C

Ausflussmengen:

$$V_a = 13{,}557 \text{ g}$$
$$V_e = 5{,}795 \text{ g}$$

Zur Berechnung des Kontrollverhältnisses ist die Kenntnis des Reduktionsfaktors $\left(\frac{r_e}{r_a}\right)^4$ notwendig; es ist

$$\log \left(\frac{r_e}{r_d}\right)^4 = 0.92720-1$$

woraus:

$$\frac{V_d}{V_e} \cdot \left(\frac{r_e}{r_d}\right)^4 = 1.98.$$

Werden bei einer bestimmten Temperatur $\Theta$ $n$ Beobachtungen bei verschiedenen Manometerdrucken

$$h_1, h_2, \ldots h_n$$

ausgeführt und seien

$$Q_1, Q_2, \ldots Q_n$$

die auf den Zeitraum von 10 Minuten bezogenen Ausflussmengen von Kapillarrohr $D$, so lassen sich die $n$ Wertepaare $h$, $Q$ in ein Koordinatennetz eintragen und es gibt uns alsdann die durch die $n$-Punkte hindurchgezogene Linie ein Bild von der Abhängigkeit der Ausflussgeschwindigkeit vom Druck.

Es sei nun $H$ der gesamte auf Quecksilber reduzierte und in cm gemessene Druck. Für den Fall, dass die Geschwindigkeitshöhe gegenüber der Druckhöhe verschwindet, gilt das Poiseuillesche Gesetz, welches verlangt:

$$Q = a \,.\, H,$$

d. h. die in bestimmter Zeit erhaltene Ausflussmenge ist dem Drucke direkt proportional.

Der Gesamtdruck $H$ ist nun die Summe aus dem Drucke $h$ der Pressluft im Apparat und dem ebenfalls auf Quecksilber reduzierten Eigendruck $\gamma$ des Öles. Somit:

$$\begin{aligned} H &= h + \gamma \\ Q &= a \,.\, (h + \gamma) \\ Q &= a \,.\, h + b \end{aligned} \qquad (1)$$

worin

$$b = a \,.\, \gamma.$$

Der Eigendruck der Ölmenge im Apparat liegt nun für alle hier in Betracht kommenden Temperaturen innerhalb der Grenzen 12,3 und 12,7 mm. Da unsere Druckmessung ohnehin nicht auf den Zehntelmillimeter genau ist, so setzen wir

$$\gamma = 1{,}25 \text{ cm}$$

Gleichung (1) besagt: Die Ausflussgeschwindigkeit ist bei konstanter Temperatur eine lineare Funktion des Manometerdrucks. Es bot sich nun

bei den hier vorliegenden Beobachtungen stets die Möglichkeit, durch die in der graphischen Darstellung erhaltenen Punkte mit guter Annäherung eine gerade Linie zu legen. Die Abweichungen der einzelnen Punkte von der geraden Linie lassen sich, soweit sie nicht innerhalb der Fehlergrenzen liegen, meist durch kleine Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Beobachtungen erklären. (Siehe Tafel III und IV.)

Eine Abhängigkeit der Viskosität vom Druck liess sich nicht erkennen. Für die hier angewendeten, relativ immerhin sehr kleinen Drucke, war es anders wohl nicht zu erwarten, haben doch die sorgfältig ausgeführten Versuche Hausers[1]), welche den Einfluss des Druckes auf die Viskosität des Wassers zu untersuchen den Zweck hatten, ergeben, dass selbst bei sehr hohen Drucken — Hauser ging bis auf 400 Atmosphären — die Abweichung vom Poiseuilleschen Gesetz etwa 4% im Maximum nicht übersteigt.

Zur Berechnung der Zähigkeit einer Flüssigkeit dient die Formel:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{P r^4 t}{V(L+A)} - \frac{\delta V}{8\pi t (L+A)}.$$

Hierin bedeutet:

$L$ die Länge und

$r$ der Radius der Kapillaren in cm,

$P$ der Gesamtdruck in $\frac{\text{Dyn}}{\text{cm}^2}$,

$V$ das in $\text{cm}^3$ gemessene Volumen der Ausflussmenge,

$t$ die Ausflusszeit in Sekunden,

$\delta$ die Dichte der Flüssigkeit bei der Beobachtungstemperatur und

$A$ die Couettesche Korrektion.

Es wird weiter unten gezeigt werden, dass der Wert des Korrektionsgliedes

$$\Gamma = \frac{\delta V}{8\pi (L+A) t} \qquad (2)$$

bei unseren Beobachtungen so klein ist, dass wir dasselbe füglich vernachlässigen dürfen. Es sei hier noch beiläufig bemerkt, dass diese Korrektion

---

[1]) Hauser, Ueber den Einfluss des Druckes auf die Viskosität des Wassers. Drude, Ann. d. Phys. u. Chemie 1901, Bd. 5, S. 597.

überhaupt wegfällt, wenn der Apparat so konstruiert ist, dass die Kapillare nicht frei ausmündet, sondern an der Austrittsstelle in ein Reservoir übergeht, in welchem eine Rückverwandlung der kinetischen Energie in potentielle Energie eines sich allmählich hebenden Niveaus stattfindet.[1])

Zur Berechnung der Zähigkeit bedienen wir uns somit der einfacheren Formel:

$$\eta = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{P . r^4 t}{V(L + A)} . \qquad (3)$$

Auf den Gleitungskoeffizienten braucht hier keine Rücksicht genommen zu werden, da Ricinusöl die Glaswand benetzt, oder wenigstens sich so verhält, als ob es dieselbe benetzen würde. Wir bezeichnen ferner mit

$\Theta$ die Temperatur des Öles (Wasserbades),
$\Theta'$ die Temperatur des Quecksilbers im Manometer,
$Q$ die Ausflussmenge in 10 Minuten, ausgedrückt in g,
$\sigma_{\Theta'}$ die Dichte des Quecksilbers im Manometer, und mit
$g$ die Beschleunigung der Schwerkraft.

Für Basel ist

$$g = 980{,}78 \ \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}\ ^{2})$$

In obiger Formel für $\eta$ haben wir zu setzen:

$$\frac{V}{t} = \frac{Q}{600 . \delta_\Theta}$$
$$P = H . \sigma_{\Theta'} . g$$

und erhalten:

$$\eta = \frac{75 \pi g . r^4}{L + A} \cdot \frac{H \sigma_{\Theta'} \delta_\Theta}{Q}$$

und da:

$$Q = a . H$$

wenn gleichzeitig

$$\frac{75 \pi g r^4}{L + A} = C$$

---

[1]) Vgl. Hagenbach, Actes de la Société Helvétique des sciences naturelles à Zermatt, page 37. 1895.

[2]) Diesen Wert für $g$ verdanken wir der gütigen Mitteilung von Herrn Dr. Theod. Niethammer aus Basel, der denselben aus zahlreichen, sorgfältig durchgeführten Pendelbeobachtungen herleitete.

gesetzt wird:

$$\eta = C \frac{\sigma_\Theta' \delta_\Theta}{a} [CGS]. \qquad (4)$$

Nun ist

$$r = 0.066295 \text{ cm}$$
$$L + A = 18.4 \text{ cm},$$

folglich:

$$\text{Log } C = 0.3848878 - 1$$
$$C = 0.24260$$

$$\eta = 0.24260 . \frac{\sigma_\Theta' \delta_\Theta}{a} GC^{-1} S^{-1}. \qquad (4a)$$

Dies ist nun die endgültige Formel, deren wir uns zur Berechnung der Zähigkeit in absolutem Masse bedienen.

Aus jeder der $n$Beobachtungen einer Serie berechnen wir in der Folge die Konstante $a$ nach der Formel

$$a = \frac{Q}{H}$$

und nehmen aus den $n$ erhaltenen Werten das Mittel. Die Differenzen dieses Mittelwertes gegenüber den direkt erhaltenen Werten für $a$ sind in den folgenden Tabellen unter $\Delta$ aufgeführt. Der wahrscheinliche Fehler der Konstanten $a$ ist sodann:

$$\varepsilon = \pm \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{[\Delta]^2}{n(n-1)}}.$$

Wir können nun auch den wahrscheinlichen Fehler von $\eta$ bestimmen, es ist

$$\eta = C . \frac{\delta_\Theta . \sigma_\Theta'}{a \pm \varepsilon}$$

$$\eta = C . \frac{\delta_\Theta \sigma_\Theta'}{a} (1 \mp \varepsilon).$$

Setzt man

$$C . \frac{\delta_\Theta \sigma_\Theta'}{a} = \eta',$$

so ist

$$\eta = \eta' \mp \frac{\eta' \varepsilon}{a}.$$

Der wahrscheinliche Fehler des berechneten Wertes der Zähigkeit ist somit

$$E = \pm \frac{\eta' \varepsilon}{a},$$

$\eta'$ ist der nach Formel (4) berechnete Wert der Zähigkeit. Wir gehen nun über zur Mitteilung der

# Resultate.

### Serie I.

$\Theta = 6.5^0$ C

$n = 3.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ $^0$C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.17 | 1.457 | 197 | 0.096 045 | —0.000 87 | 6.5 |
| 2 | 15.57 | 1.522 | 196 | 0.097 75 | +0.000 84 | 6.5 |
| 3 | 24.10 | 2.336 | 198 | 0.096 93 | +0.000 02 | 6.5 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.09691 \pm 0.00033$$

$\Theta' = 9.0^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.573$

$\delta_\Theta = 0.9697,$

woraus:

$$\eta' = 32.95$$
$$E = 0.11.$$

Somit:

$$\eta = 32.95\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.11.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.3 %.

---

### Serie II.

$\Theta = 8.7^0$ C

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ $^0$C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11.26 | 1.366 | 196 | 0.12 131 | +0.00 391 | 8.9 |
| 2 | 14.95 | 1.7175 | 196 | 0.11 488 | —0.00 252 | 8.6 |
| 3 | 15.85 | 1.8655 | 196 | 0.11 769 | +0.00 029 | 8.7 |
| 4 | 18.10 | 2.098 | 196.5 | 0.11 591 | —0.00 149 | 8.7 |
| 5 | 20.27 | 2.376 | 198 | 0.11 722 | —0.00 018 | 8.7 |
| 6 | 21.67 | 2.544 | 196 | 0.11 739 | —0.00 001 | 8.7 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.11740 \pm 0.00060$$

$$\Theta' = 12.2^0\ \text{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.566$$
$$\delta_\Theta = 0.9681,$$

woraus:

$$\eta' = 27.139$$
$$E = 0.139.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 27.14\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.14.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt circa 0.5%.

---

**Serie III.**

$\Theta = 9.9^0$ C

$n = 4.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14.61 | 1.888 | 197 | 0.12 923 | —0.00 081 | 9.9 |
| 2 | 14.79 | 1.917 | 196 | 0.12 961 | —0.00 043 | 9.9 |
| 3 | 32.07 | 4.167 | 197 | 0.12 993 | —0.00 011 | 9.9 |
| 4 | 43.14 | 5.668 | 195 | 0.13 139 | +0.00 135 | 10.0 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.13004 \pm 0.00032$$

$$\Theta' = 16.0^0\ \text{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.556$$
$$\delta_\Theta = 0.9673,$$

woraus:

$$\eta' = 24.463$$
$$E = 0.059.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 24.46\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.06.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt somit 0.25%.

---

**Serie IV.**

$\Theta = 10.3^0$ C

$n = 4.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 26.12 | 3.5705 | 196 | 0.13 670 | +0.00 100 | 10.3 |
| 2 | 27.32 | 3.751 | 196 | 0.13 730 | +0.00 160 | 10.4 |
| 3 | 28.40 | 3.874 | 195 | 0.13 641 | +0.00 071 | 10.4 |
| 4 | 30.05 | 3.978 | 196 | 0.13 238 | —0.00 332 | 10.2 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.13570 \pm 0.00075$$

$\Theta' = 12.8^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.564$

$\delta_\Theta = 0.9670,$

woraus:

$$\eta' = 23.45$$
$$E = 0.13.$$

Somit:

$$\eta = 23.45\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.13.$$

Die Unsicherheit beträgt 0.6 %.

---

**Serie V.**

$\Theta = 12.8^0$ C

$n = 3.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9.36 | 1.628 | 196 | 0.17 393 | +0.00 369 | 12.7 |
| 2 | 14.88 | 2.562 | 198 | 0.17 218 | +0.00 194 | 12.9 |
| 3 | 30.02 | 4.942 | 197 | 0.16 462 | —0.00 562 | 12.7 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.17024 \pm 0.00191$$

$\Theta' = 19.3^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.548$

$\delta_\Theta = 0.9653,$

woraus:

$$\eta' = 18.64$$
$$E = 0.21.$$

Somit:

$$\eta = 18.64\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.21.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 1.1 %.

---

**Serie VI.**

$\Theta = 13.6^0$ C

$n = 3.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8.62 | 1.6295 | 197 | 0.18 904 | +0.00 415 | 13.6 |
| 2 | 20.90 | 3.777 | 196 | 0.18 072 | —0.00 417 | 13.6 |
| 3 | 31.02 | 5.736 | 197 | 0.18 491 | +0.00 002 | 13.5 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.18489.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00160.$$

$\Theta' = 18.5^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.550$

$\delta_\Theta = 0.96475,$

woraus:

$$\eta' = 17.15$$
$$E = \pm 0.15.$$

Somit:

$$\eta = 17.15\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.15.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.9 %.

---

**Serie VII.**

$\Theta = 14.9^0$ C

$n = 4.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.60 | 2.628 | 196 | 0.20 857 | —0.00 003 | 14.9 |
| 2 | 20.80 | 4.267 | 198 | 0.20 514 | —0.00 346 | 14.9 |
| 3 | 21.58 | 4.518 | 196 | 0.20 936 | +0.00 076 | 14.8 |
| 4 | 34.35 | 7.260 | 197 | 0.21 135 | +0.00 275 | 15.0 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.208605.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.000863$$

$$\Theta' = 17.7^0\,\mathrm{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.552$$

$$\delta_\Theta = 0.9639,$$

woraus:

$$\eta' = 15.191$$
$$E = 0.063.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 15.191\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.063.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.4 %.

---

**Serie VIII.**

$\Theta = 16.1^0\,\mathrm{C}$

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.01 | 1.563 | 195 | 0.22 297 | +0.00 803 | 16.0 |
| 2 | 11.88 | 2.778 | 196.5 | 0.23 384 | —0.00 284 | 16.2 |
| 3 | 25.72 | 6.087 | 196 | 0.23 666 | —0.00 566 | 16.2 |
| 4 | 29.53 | 6.620 | 197 | 0.22 418 | +0.00 682 | 16.0 |
| 5 | 34.40 | 8.110 | 197.5 | 0.23 576 | —0.00 476 | 16.2 |
| 6 | 35.47 | 8.249 | 197 | 0.23 256 | —0.00 156 | 16.1 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.230995.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.001615$$

$$\Theta' = 18.6^0\,\mathrm{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.550$$

$$\delta_\Theta = 0.9630,$$

woraus:

$$\eta' = 13.704$$
$$E = 0.096.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 13.704\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.096.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.7 %.

---

## Serie IX.

$\Theta = 19.6^0$ C

$n = 5.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10.48 | 3.196 | 195 | 0.30 496 | +0.00 250 | 19.5 |
| 2 | 22.73 | 6.965 | 195 | 0.30 642 | +0.00 104 | 19.6 |
| 3 | 26.33 | 8.305 | 196 | 0.31 542 | —0.00 796 | 19.7 |
| 4 | 32.40 | 9.780 | 198 | 0.30 185 | +0.00 561 | 19.6 |
| 5 | 33.37 | 10.299 | 196 | 0.30 863 | —0.00 117 | 19.6 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.30746.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00152$$

$\Theta' = 17.7^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.552$

$\delta_\Theta = 0.9606,$

woraus:

$$\eta' = 10.272$$
$$E = \pm 0.051.$$

Somit:

$$\eta = 10.272 \cdot GC^{-1}S^{-1} \pm 0.51.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.5%.

---

## Serie X.

$\Theta = 22.6^0$ C

$n = 7.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.53 | 6.191 | 199 | 0.39 865 | +0.00 054 | 22.7 |
| 2 | 17.71 | 7.124 | 198 | 0.40 226 | +0.00 415 | 22.6 |
| 3 | 22.70 | 9.291 | 199 | 0.40 930 | +0.01 119 | 22.5 |
| 4 | 27.98 | 10.6715 | 197 | 0.38 140 | —0.01 671 | 22.4 |
| 5 | 28.11 | 10.908 | 199.5 | 0 38 805 | —0.01 006 | 22.5 |
| 6 | 33.25 | 13.276 | 199 | 0.39 928 | +0.00 117 | 22.6 |
| 7 | 38.85 | 15.845 | 198 | 0.40 785 | +0.00 974 | 22.6 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.39811.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00256$$

$$\Theta' = 23.4^0\,\mathrm{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.538$$
$$\delta_\Theta = 0.95859,$$

woraus:

$$\eta' = 7.908$$
$$E = \pm 0.051.$$

Somit:

$$\eta = 7.908\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.051.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.6%.

---

**Serie XI.**

$\Theta = 24.8^0$ C

$n = 5.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22.21 | 10.757 | 197 | 0.48 433 | +0.00 747 | 24.8 |
| 2 | 28.77 | 13.312 | 197 | 0.46 270 | —0.01 416 | 24.8 |
| 3 | 29.80 | 14.101 | 197 | 0.47 319 | —0.00 367 | 24.7 |
| 4 | 31.53 | 15.292 | 197 | 0.48 500 | +0.00 814 | 24.8 |
| 5 | 33.07 | 15.843 | 196.5 | 0.47 907 | +0.00 221 | 24.8 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.47\,686.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00275$$

$$\Theta' = 22.4^0\,\mathrm{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.5404$$
$$\delta_\Theta = 0.95701,$$

woraus:

$$\eta' = 6.592$$
$$E = \pm 0.038.$$

Somit:

$$\eta = 6.592\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.038.$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.6%.

---

## Serie XII.

$\Theta = 26.4^0$ C

$n = 3.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10.26 | 5.4735 | 196 | 0.53 348 | +0.01 084 | 26,5 |
| 2 | 23.07 | 12 0835 | 197 | 0.52 378 | +0.00 114 | 26.4 |
| 3 | 23.34 | 11.919 | 197 | 0.51 067 | —0.01 197 | 26.3 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.52264.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.0044$$

$\Theta' = 26.8^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.530$

$\delta_\Theta = 0.9559,$

woraus:

$$\eta' = 6.003$$
$$E = \pm 0.051.$$

Somit:

$$\eta = 6.003\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.051.$$

Die Unsicherheit des Wertes beträgt 0.8%.

## Serie XIII.

$\Theta = 28.4^0$ C

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 13.39 | 8.324 | 196 | 0.62 166 | +0.00 177 | 28.5 |
| 2 | 15.46 | 9.621 | 195 | 0.62 232 | +0.00 111 | 28.4 |
| 3 | 22.81 | 14.225 | 196 | 0.62 363 | —0.00 020 | 28.3 |
| 4 | 26.34 | 16.435 | 197 | 0.62 395 | —0.00 052 | 28.4 |
| 5 | 31.75 | 19.824 | 196 | 0.62 438 | —0.00 095 | 28.5 |
| 6 | 36.37 | 22.718 | 198 | 0.62 464 | —0.00 121 | 28.3 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.62343.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.000323$$

$$\Theta' = 26.6^0\,\text{C} \qquad \sigma_{\Theta}' = 13.530$$

$$\delta_{\Theta} = 0.9545,$$

woraus:

$$\eta' = 5.026$$
$$E = \pm 0.003.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 5.026\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.003.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt somit etwa $^1/_{20}\,^0/_0$.

---

**Serie XIV.**

$\Theta = 29.8^0$ C

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.75 | 9.038 | 198 | 0.70 886 | +0.01 400 | 29.8 |
| 2 | 17.25 | 11.807 | 197.5 | 0.68 446 | —0.01 040 | 29.8 |
| 3 | 19.98 | 13.805 | 197 | 0.69 094 | —0.00 392 | 29.8 |
| 4 | 24.87 | 17.357 | 198 | 0.69 791 | +0.00 305 | 29.8 |
| 5 | 27.95 | 19.753 | 198 | 0.70 673 | +0.01 187 | 29.8 |
| 6 | 32.52 | 22.122 | 197 | 0.68 026 | —0.01 460 | 29.8 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.69\,486.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00318$$

$$\Theta' = 25.7^0\,\text{C} \qquad \sigma_{\Theta}' = 13.532$$

$$\delta_{\Theta} = 0.9535,$$

woraus:

$$\eta' = 4.505$$
$$E = \pm 0.021.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 4.505\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.021.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt $0.5\,^0/_0$.

---

## Serie XV.

$\Theta = 31.9^0$ C

$n = 5.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14.77 | 11.850 | 196 | 0.80 230 | +0.00 856 | 32.0 |
| 2 | 20.70 | 16.163 | 196 | 0.78 082 | —0.01 292 | 32.0 |
| 3 | 22.97 | 18.584 | 196 | 0.80 906 | +0.01 532 | 31.9 |
| 4 | 25.18 | 19.857 | 196 | 0.78 860 | —0.00 514 | 32.0 |
| 5 | 27.02 | 21.290 | 197 | 0.78 794 | —0.00 580 | 31.8 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.79374.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00345$$

$\Theta' = 22.0^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.5414$

$\delta_\Theta = 0.9521,$

woraus:

$$\eta' = 3.940$$
$$E = \pm 0.017.$$

Somit:

$$\eta = 3.940\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.017.$$

Die Unsicherheit beträgt $0.4^0/_0$.

---

## Serie XVI.

$\Theta = 33.0^0$ C

$n = 5.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 16.36 | 13.830 | 197 | 0.84 535 | —0.00 248 | 33.0 |
| 2 | 18.11 | 15.085 | 196 | 0.83 297 | —0.01 486 | 33.0 |
| 3 | 19.82 | 17.108 | 197 | 0.86 317 | +0.01 534 | 33.0 |
| 4 | 21.47 | 18.407 | 196 | 0.85 733 | +0.00 950 | 32.9 |
| 5 | 23.19 | 19.487 | 196 | 0.84 032 | —0.00 751 | 32.9 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 0.84783.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00368$$
$$\Theta' = 22.5^0\,\mathrm{C} \qquad \delta_\Theta = 0.9513$$
$$\sigma_{\Theta'} = 13.540,$$

woraus:

$$\eta' = 3.686$$
$$E = \pm 0.016.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 3.686\, C^{-1} G S^{-1} \pm 0.016.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.4%.

---

## Serie XVII.

$\Theta = 35.8^0\,\mathrm{C}$

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 17.75 | 18.621 | 197 | 1.0491 | +0.0133 | 35.8 |
| 2 | 19.77 | 20.473 | 196.5 | 1.0356 | —0.0002 | 35.8 |
| 3 | 21.57 | 21.768 | 197 | 1.0092 | —0.0266 | 35.8 |
| 4 | 23.58 | 24.552 | 197 | 1.0412 | +0.0054 | 35.8 |
| 5 | 24.90 | 26.078 | 197 | 1.0473 | +0.0115 | 35.8 |
| 6 | 26.48 | 27.332 | 196 | 1.0322 | —0.0036 | 35.8 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 1.0358.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00396$$
$$\Theta' = 23.1^0\,\mathrm{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.539$$
$$\delta_\Theta = 0.9494,$$

woraus:

$$\eta' = 3.010$$
$$E = \pm 0.012.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 3.010\, G C^{-1} S^{-1} \pm 0.012.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.4%.

---

## Serie XVIII.

$\Theta = 36.5^0$ C

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.03 | 13.324 | 198 | 1.1076 | + 0.0192 | 36.5 |
| 2 | 14.43 | 15.520 | 197 | 1.0755 | — 0.0129 | 36.6 |
| 3 | 21.83 | 23.899 | 198 | 1.0948 | + 0.0064 | 36.6 |
| 4 | 24.52 | 27.411 | 198 | 1.1179 | + 0.0295 | 36.6 |
| 5 | 27.80 | 29.737 | 197 | 1.0697 | — 0.0187 | 36.5 |
| 6 | 34.68 | 36.925 | 198 | 1.0647 | − 0.0237 | 36.5 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 1.0884.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.00591$$

$\Theta' = 25.0^0$ C $\qquad \sigma_{\Theta'} = 13.534$

$\delta_\Theta = 0.9489,$

woraus:

$$\eta' = 2.862$$
$$E = 0.016.$$

Somit:

$$\eta = 2.862\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.016.$$

Die Unsicherheit beträgt 0.6%.

---

## Serie XIX.

$\Theta = 38.3^0$ C

$n = 6.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14.78 | 18.278 | 197 | 1.2367 | + 0.0155 | 38.2 |
| 2 | 15.06 | 18 507 | 197 | 1.2289 | + 0.0077 | 38.4 |
| 3 | 16.38 | 19.643 | 197 | 1.1992 | — 0.0220 | 38.2 |
| 4 | 18.32 | 22.127 | 196 | 1.2078 | — 0.0134 | 38.2 |
| 5 | 20.62 | 25.639 | 196 | 1.2434 | + 0.0222 | 38.4 |
| 6 | 23.63 | 28.620 | 196 | 1.2112 | — 0.0100 | 38.3 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 1.2212.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.0048$$

$$\Theta' = 23.0^0\ \text{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.539$$

$$\delta_\Theta = 0.9476,$$

woraus:

$$\eta' = 2.549$$
$$E = 0.010.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 2.549\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.010.}$$

Der wahrscheinliche Fehler beträgt somit circa 0.5 %.

---

**Serie XX.**

$\Theta = 40.6^0$ C

$n = 3.$

| Nr. | $H$ cm | $Q$ g | $10^2 . \mu$ | $a$ | $\Delta$ | $\Theta$ °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.73 | 17.779 | 196 | 1.3966 | +0.0124 | 40.5 |
| 2 | 21.16 | 28.892 | 195 | 1.3654 | —0.0188 | 40.6 |
| 3 | 28.47 | 39.592 | 198 | 1.3906 | +0.0064 | 40.6 |

Mittelwert der Konstanten:

$$a = 1.3842.$$

Wahrscheinlicher Fehler dieser Konstanten:

$$\varepsilon = \pm 0.0064$$

$$\Theta' = 22.0^0\ \text{C} \qquad \sigma_{\Theta'} = 13.541$$

$$\delta_\Theta = 0.9460,$$

woraus:

$$\eta' = 2.245$$
$$E = 0.010.$$

Somit:

$$\underline{\eta = 2.245\, GC^{-1}S^{-1} \pm 0.010.}$$

Die Unsicherheit dieses Wertes beträgt 0.5 %.

---

Aus den hier angeführten Beobachtungen — im ganzen sind es 96 — sind somit 20 Werte für die Viskosität des Ricinusöles gefunden worden. Wir lassen hier eine tabellarische Zusammenstellung folgen.

**Tabelle 12.**

| Nr. | $\Theta$ °C | $\eta$ | $E$ % | log $\eta$ | $F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6.5 | 32.95 | 0.3 | 1.51 782 | 0.03 035 |
| 2 | 8.7 | 27.14 | 0.5 | 1.43 359 | 0.03 685 |
| 3 | 9.9 | 24.46 | 0.3 | 1.38 850 | 0.04 088 |
| 4 | 10.3 | 23.45 | 0.6 | 1.37 014 | 0.04 264 |
| 5 | 12.8 | 18.64 | 1.1 | 1.27 036 | 0.05 366 |
| 6 | 13.6 | 17.15 | 0.9 | 1.23 433 | 0.05 830 |
| 7 | 14.9 | 15.19 | 0.4 | 1.18 160 | 0.06 583 |
| 8 | 16.1 | 13.70 | 0.7 | 1.13 685 | 0.07 297 |
| 9 | 19.6 | 10.27 | 0.5 | 1.01 165 | 0.09 735 |
| 10 | 22.6 | 7.908 | 0.6 | 0.89 808 | 0.12 645 |
| 11 | 24.8 | 6.592 | 0.6 | 0.81 904 | 0.15 17 |
| 12 | 26.4 | 6.003 | 0.8 | 0.77 840 | 0.16 66 |
| 13 | 28.4 | 5.026 | 0.05 | 0.70 119 | 0.19 90 |
| 14 | 29.8 | 4.505 | 0.5 | 0.65 370 | 0.22 20 |
| 15 | 31.9 | 3.940 | 0.4 | 0.59 553 | 0.25 38 |
| 16 | 33.0 | 3.686 | 0.4 | 0.56 652 | 0.27 13 |
| 17 | 35.8 | 3.010 | 0.4 | 0.47 863 | 0.33 22 |
| 18 | 36.5 | 2.862 | 0.6 | 0.45 674 | 0.34 94 |
| 19 | 38.3 | 2.549 | 0.4 | 0.40 631 | 0.39 24 |
| 20 | 40.6 | 2.245 | 0.5 | 0.35 124 | 0.44 54 |

Den Werten für die absolute Zähigkeit des Ricinusöls sind ausser ihren wahrscheinlichen Fehlern noch die Logarithmen und unter $F$ die reziproken Werte der Zähigkeit, die sog. **Fluiditäten** beigegeben.

Tabelle 13 (S. 64) enthält die durch graphische Interpolation erhaltenen Werte der Zähigkeit und der Fluidität von Grad zu Grad.

Diejenigen Serien, die bloss aus drei Beobachtungen bestehen, wurden später eingeschoben, als sich die Notwendigkeit ergab, in der die Abhängigkeit zwischen Viskosität und Temperatur darstellenden Kurve die durch das weite Auseinanderliegen der Punkte bedingte Unsicherheit zu beheben.

**Tabelle 13.**

| $\Theta$ °C | $\eta$ | $F$ | $\Theta$ °C | $\eta$ | $F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 37.60 | 0.0 256 | 23 | 7.67 | 0.1 308 |
| 6 | 34.475 | 0.0 282 | 24 | 7.06 | 0.1 420 |
| 7 | 31.56 | 0.0 314 | 25 | 6.51 | 0.1 542 |
| 8 | 28.90 | 0.0 346 | 26 | 6.04 | 0.1 670 |
| 9 | 26.45 | 0.0 378 | 27 | 5.61 | 0.1 810 |
| 10 | 24.18 | 0.0 416 | 28 | 5.21 | 0.1 940 |
| 11 | 22.075 | 0.0 456 | 29 | 4.85 | 0.2 099 |
| 12 | 20.075 | 0.0 502 | 30 | 4.51 | 0.2 259 |
| 13 | 18.25 | 0.0 550 | 31 | 4.21 | 0.2 425 |
| 14 | 16.61 | 0.0 604 | 32 | 3.94 | 0.2 599 |
| 15 | 15.14 | 0.0 658 | 33 | 3.65 | 0.2 779 |
| 16 | 13.805 | 0.0 720 | 34 | 3.40 | 0.2 965 |
| 17 | 12.65 | 0.0 786 | 35 | 3.16 | 0.3 162 |
| 18 | 11.625 | 0.0 855 | 36 | 2.94 | 0.3 365 |
| 19 | 10.71 | 0.0 932 | 37 | 2.74 | 0.3 580 |
| 20 | 9.86 | 0.1 019 | 38 | 2.58 | 0.3 809 |
| 21 | 9.06 | 0.1 110 | 39 | 2.44 | 0.4 055 |
| 22 | 8.34 | 0.1 205 | 40 | 2.31 | 0.4 302 |

In solchen Fällen wurde aus einem grossen Material einzelner Beobachtungen die passenden herausgesucht und zu einer Serie zusammengestellt. Im allgemeinen besitzen die aus solchen nachträglich gebildeten Serien berechneten einen etwas grösseren wahrscheinlichen Fehler als die aus den eigentlichen Beobachtungsserien ermittelten Werte von $\eta$.

Wir haben jetzt noch zu zeigen, dass bei unseren Beobachtungen die bei der Berechnung der Zähigkeit anzubringende Korrektionsgrösse

$$\Gamma = \frac{\delta_\Theta . V}{8\pi L . t}$$

so klein ist, dass wir sie vollkommen vernachlässigen dürfen. Da

$$Q = \delta_\Theta . V$$

und

$$t = 600^{\text{sec}}$$

so folgt:

$$\Gamma = \frac{Q}{600 . 8\pi . L}.$$

Die grösste Ausflussmenge wurde erhalten bei Beobachtung Nr. 3 in Serie XX, es war dort

$$Q = 39.592 \text{ g.}$$

Setzen wir nun noch $L = 18$ cm, so ergibt sich:

$$\Gamma < \frac{40}{8\pi \,.\, 600 \,.\, 18}$$

$$\Gamma < \frac{1}{6480}.$$

Diese Korrektion beträgt somit weniger als zwei Einheiten der 4. Dezimalen und fällt somit, da die vorliegenden Werte der Zähigkeit bereits in der 2. Dezimalen unsicher sind, ausser Betracht. Die folgenden

## Kontrollbeobachtungen

wurden ausgeführt um festzustellen, wie weit unsere aus absoluten Bestimmungen erhaltenen Werte der Zähigkeit des Ricinusöles übereinstimmen mit den durch direkte Vergleichung der Ausflussgeschwindigkeiten von Ricinusöl und Wasser hergeleiteten Konstanten. Das zu diesen Versuchen benutzte Kapillarrohr war direkt an ein kugelförmiges gläsernes Reservoir angeschmolzen, in welchem mittels einer Mariotteschen Flasche ein konstantes Niveau hergestellt wurde. Bei allen Beobachtungen hatte also die Druckhöhe stets denselben unveränderlichen Wert. Die Methode, deren wir uns hier bedienten, ist im Prinzip die zur Bestimmung der spezifischen Zähigkeit der Flüssigkeiten gebräuchliche. Es war daher die Kenntnis der Dimensionen der Kapillaren nicht notwendig. Bezeichnen wir mit

$l$ die Länge, mit
$r$ den Radius des Kapillarrohres und mit
$h$ die konstante Druckhöhe; ferner mit
$s$ die Dichte, und mit
$\eta$ die Zähigkeit der Flüssigkeit,

so ist:

$$v = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{h.s.g.r^4}{l}$$

die Ausflussmenge in der Zeiteinheit. Setzen wir

$$\frac{\pi h \,.\, g \,.\, r^4}{8\,l} = C,$$

so ist:

$$v = C.\frac{s}{\eta}.$$

Ist $\gamma$ die Masse der in der Zeiteinheit erhaltenen Ausflussmenge, so ist:

$$v = \frac{\gamma}{s}.$$

Somit

$$\eta = C.\frac{s^2}{\gamma}.$$

Diese Formel kann nun zur Berechnung der Zähigkeit einer Flüssigkeit dienen, wenn der Wert der Konstanten $C$ bekannt ist. $C$ lässt sich aber experimentell bestimmen, indem man eine Flüssigkeit von bekannter Zähigkeit durch die Kapillare fliessen lässt und die Ausflussgeschwindigkeit misst.

Wir bestimmen die Konstante des Apparates aus

## Versuchen mit Wasser.

Die Resultate der acht angestellten Versuche sind in der folgenden Tabelle enthalten. Die Ausflussmenge $Q$ bezieht sich auf den Zeitraum von 10 Minuten.

**Tabelle 14.**

| $\Theta$ °C | $Q$ g |
|---|---|
| 23.0 | 14.183 |
| 22.8 | 14.304 |
| 22.8 | 14.752 |
| 22.9 | 14.874 |
| 22.8 | 14.318 |
| 22.7 | 14.432 |
| 22.7 | 14.561 |
| 22.8 | 14.560 |

Mittlere Beobachtungstemperatur: $\Theta = 22.8^0$ C

Mittelwert von $Q$ . . . . . 14.498 g
Korrektion wegen Verdunstung . . 0.006 g
$Q = 14.504$ g

Somit:

$$\gamma = \frac{Q}{600}$$
$$\gamma = 0.024173 \text{ g}.$$

Wir rechnen nun $C$ nach der Formel:

$$C = \frac{\gamma \cdot \eta}{s^2}$$

Dichte des Wassers bei 22.8° C: $s = 0.99766$
Zähigkeit „ „ „ 22.8° C: $\eta = 0.009456$ [1])

und man findet nun

$$\text{Log } C = 0.36107 - 4$$
$$C = 0.0002296.$$

Der Wert dieser Konstanten ist allerdings von der Temperatur nicht vollkommen unabhängig, doch sind die mit den hier in Betracht kommenden Temperaturunterschieden verbundenen Änderungen dieser Konstanten ausserordentlich gering.

Um zu untersuchen, bis zu welchem Grade der Annäherung die auf diesem Wege erhaltenen Resultate mit bereits bekannten Zahlen übereinstimmen, wurden zunächst

## Versuche mit Amylalkohol

angestellt.

**Tabelle 15.**

| $\Theta$ ° C | $Q$ g |
|---|---|
| 22.1 | 2.190 |
| 22.8 | 2.229 |
| 22.9 | 2.288 |
| 23.0 | 2.288 |
| 23.0 | 2.258 |
| 23.0 | 2.232 |
| 23.0 | 2.227 |
| 23.0 | 2.287 |

Mittelwert von $\Theta$: 22.9° C
„ „ $Q$: 2.258 g.

Die Korrektion wegen Verdunstung des Amylalkohols liegt vollkommen innerhalb der Fehlergrenzen, da dieselbe 0.5 mg nicht übersteigt.

[1]) O. E. Meier, Beobachtungen von A. Rosenkranz über den Einfluss der Temperatur auf die innere Reibung von Flüssigkeiten. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1877, Bd. 2, S. 387.

Somit ist:

$$\gamma = \frac{Q}{600} = 0.003\,763 \text{ g}.$$

Die Dichte des Amylalkohols bei 23° C ist

$$s = 0.810\,^{1})$$

und wir finden für die Zähigkeit des Amylalkohols:

$$\eta = 0.04004.$$

Für die spezifische Zähigkeit des Amylalkohols bei 23° C erhalten wir:

$$z = 221.6,$$

wobei die Viskosität des Wassers bei 0° C gleich 100 gesetzt wird.

In Anbetracht der primitiven Versuchsanordnung stimmt dieser Wert sehr gut mit den bereits bekannten Zahlen; es ist nämlich bei 25° C

nach Rellstab[2]) . . . . . $z = 215.6$
nach Pribram und Handl[3]) . . $z = 225.0$.

Legen wir diesen beiden Beobachtungen gleiches Gewicht bei, so ergibt sich aus diesen als Mittelwert:

$$z = 220.3.$$

## Versuche mit Ricinusöl.

Bei der ausserordentlichen Zähigkeit dieser Flüssigkeit und bei der geringen Druckhöhe im Apparat bedurfte es eines grossen Zeitraumes um eine, auch nur auf Bruchteile eines Grammes sich belaufende Ausflussmenge zu erhalten. Bei der langen Dauer einer Beobachtuug bot sich aber eine Schwierigkeit im Konstanthalten der Temperatur. Dieselbe konnte dadurch gehoben werden, dass der Apparat in einem kleinen Raum aufgestellt werden konnte, dessen Temperatur, wie vorangegangene Messungen ergaben, tagelang ausserordentlich geringen Schwankungen unterworfen war. Die

---

[1]) Siehe Landolt u. Börnsteins Tabellen. 2. Aufl., 1894, S. 167.

[2]) Rellstab, Ueber Transpirationsgeschwindigkeit homologer Flüssigkeiten. Inauguraldissertation, Bonn.

[3]) Pribram und Handl, Ueber die spezifische Zähigkeit der Flüssigkeiten und ihre Beziehung zur chem. Konstitution. Siehe Zitat auf S. 14.

folgende kleine Zusammenstellung gibt uns den Gang der Temperatur während der Dauer des hier anzuführenden Versuchs.

| Zeit | Temp. ° C |
|---|---|
| vorm. $9^h\ 40^m$ | 8.2 |
| nachm. $2^h\ 0^m$ | 8.0 |
| abends $8^h\ 30^m$ | 8.0 |

Mittlere Beobachtungstemperatur $\Theta = 8.1^0$ C
Ausflusszeit $= 11^h\ 50^m$ . . . $= 710^m$
Ausflussmenge . . . . . $= 0.2946$ g,

woraus:

$$\gamma = 0.00000692 \text{ g}$$

Dichte des Ricinusöls bei $8^0$ C: $s = 0.9686$.

Somit:

Zähigkeit des Ricinusöls bei dieser Temperatur

$$\underline{\eta = 31.14.}$$

Aus Tabelle 13 ergibt sich jedoch für die Zähigkeit des Ricinusöls bei $8^0$ C:

$$\eta = 28.90.$$

Die Differenz beider Werte beträgt 2.2 Einheiten, also etwa 7 %. Der aus der Kontrollbeobachtung resultierende Wert für $\eta$ ist also hier etwas grösser als der bereits bekannte Wert. Dürfen wir auch die Übereinstimmung nicht eine vorzügliche nennen, so kann sie doch, in Anbetracht des Umstandes, dass wir hier Flüssigkeiten von so verschiedener Fluidität einer direkten Vergleichung unterzogen haben, eine befriedigende genannt werden.

Wie sehr die Zähigkeit des Ricinusöls von derjenigen des Wassers abweicht, zeigen die folgenden Zahlen.

Setzen wir die Zähigkeit des Wassers bei $0^0$ C $= 1$, so ist die Zähigkeit des Ricinusöls

bei $8^0$ C: $z = 1583$
„ $40.6^0$ C: $z = 124.$

Die Grösse dieser Zahlen illustriert genugsam den wahren Wert der oben gegebenen Abweichung der von uns für das Ricinusöl gefundenen Zähigkeit.

Wir sind bei unseren Betrachtungen ausgegangen von den Beobachtungen, die Kahlbaum bei seinen Pressversuchen in Ricinusöl angestellt hat. Für solche Pressversuche ist, worauf schon früher hingewiesen wurde, von Amagat Melasse benutzt und empfohlen worden. Wir haben zwar mit Melasse selbst keine Versuche angestellt, dagegen solche mit einem Stoff von ähnlicher Konsistenz, nämlich mit Honig. Wir hatten es aber in diesem Falle kaum mehr mit einer Flüssigkeit im eigentlichen Sinne des Wortes zu tun. Bei unseren Versuchen nahm die Ausflussgeschwindigkeit mehr und mehr ab und erreichte nach einiger Zeit den Wert Null. Die Erscheinung ist dadurch zu erklären, dass unter bestimmten Bedingungen im Honig spontane Kristallisation eintritt, kleine Zuckerkriställchen setzen sich an der inneren Wandung des Kapillarrohrs ab und vergrössern mit der Zeit den Reibungswiderstand ins Unbegrenzte.

# Das Temperaturgesetz der Viskosität.

Die vorliegenden Beobachtungen weisen als Hauptergebnis eine ausserordentlich starke Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur auf und der ziemlich regelmässige Verlauf der Kurve, welche uns die Änderung der Viskosität mit der Temperatur darstellt, lässt darauf schliessen, dass diese einer bestimmten Gesetzmässigkeit unterworfen ist. Zahlreiche Untersuchungen über diese Abhängigkeit haben bis jetzt nur empirische Formeln, welche sich den Beobachtungen mehr oder weniger gut anschliessen, ergeben; eine auf theoretischer Grundlage abgeleitete und aus theoretischen Schlüssen entwickelte Formel ist, trotz mancherlei mehr oder weniger bestimmter Vorstellungen über das Wesen der Flüssigkeitsreibung, bisher noch nicht aufgestellt worden, und zwar wohl aus dem Grunde, weil die molekularen Verhältnisse der flüssigen Körper, auf die man bei diesen Betrachtungen zurückgehen muss, ausserordentlich verwickelter Natur sind. Der einzige Versuch, der unseres Wissens in dieser Richtung bisher unternommen wurde, rührt von Graetz[1]) her, der, wie wir weiter unten zeigen werden, auf Grund Maxwell'scher Anschauungen eine Formel entwickelte, deren Herleitung jedoch nicht auf Vorstellungen über die Beziehung zwischen den kleinsten Teilchen beruht.

In ähnlicher Weise wie bei den Gasen hat Jaeger[2]) eine kinetische Theorie der Flüssigkeiten entwickelt auf Grund der Vorstellung, dass die

---

[1]) Graetz, Ueber die Reibung von Flüssigkeiten. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1888, Bd. 34. S. 25.

[2]) Jaeger, Ueber die innere Reibung der Flüssigkeiten. Ber. d. Kais. Akad. Wien, Klasse II, Abth. IIa, 1893, S. 253.

Übertragung der Bewegungsgrösse von einer Molekelschicht zur benachbarten durch die hin- und herfliegenden Moleküle geschieht. Bedeutet

$r$ den Radius,
$C$ die mittlere Geschwindigkeit,
$\lambda$ die mittlere Weglänge einer Molekel und
$\varrho$ die Dichte der Flüssigkeit,

so besteht zwischen diesen Grössen und dem Koeffizienten $\eta$ der inneren Reibung die folgende Relation:

$$\eta = \frac{2 r^2 \varrho C}{3 \lambda}.$$

Diese Formel kann uns das gesuchte Temperaturgesetz liefern, wenn die Grössen $\varrho$, $C$ und $\lambda$ in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur bekannt sind. Die Richtigkeit dieser Formel an der Erfahrung zu prüfen, dürfte aus dem Grunde wohl auf Schwierigkeiten stossen, weil die obengenannten Grössen sämtlich wohl kaum bekannt sein dürften, und es kann vorläufig diese Formel nur insofern Bedeutung haben, als sie gestattet aus der Grösse der bekannten Flüssigkeitsreibung rückwärts einen Schluss zu ziehen auf den numerischen Wert der Grössen $r$, $\varrho$, $C$ und $\lambda$.

Im Jahre 1800, also lange bevor Poiseuille durch seine klassischen Versuche über das Fliessen in Kapillarröhren den Anstoss gab, zu der grossen Zahl von Abhandlungen und Untersuchungen, die seither über diesen Gegenstand veröffentlicht wurden, hat Gerstner[1]) bereits den grossen Einfluss der Wärme auf die Fluidität des Wassers erkannt und nachgewiesen. Er schreibt: „Das Wasser ist bisher für vollkommen flüssig angesehen worden. Auf dieser Voraussetzung beruhen alle Sätze der Hydrostatik und Hydrodynamik. Wenn wir aber bedenken, dass das Wasser seinen flüssigen Zustand nur der Wärme zu verdanken hat und dass es bei Abnahme der Wärme zu einem festen Körper (zu Eis) wird, so ergibt sich die wahrscheinliche Vermutung von selbst, dass die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden verschieden sein könne und dass dieser Umstand, falls er stattfindet, auf die Bewegung des Wassers einen merklichen Einfluss haben muss.“

[1]) Gerstner, Versuche über die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen. Gilberts Ann. d. Phys. u. Chemie, 1800, Bd. 5, S. 160.

Gerstner beobachtet die Zeiträume, in denen gleiche Volumina des Wassers bei verschiedenen Temperaturen und bei korrespondierenden Drucken durch Röhren von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt durchfliessen, berechnet die Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren und kommt zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Wärme hat nicht nur unbedeutende, sondern beträchtliche Änderungen in der Bewegung des Wassers zur Folge.

2. Die Änderung, welche die Wärme auf die Geschwindigkeit des Wassers hervorbringt, ist beträchtlicher bei Röhren von kleineren als bei Röhren von grösserem Durchmesser und ansehnlicher bei kleineren Geschwindigkeiten als bei grösseren.

3. Der Einfluss der Wärme ist am grössten in der Nähe des Gefrierpunktes.

Während die Resultate der Untersuchungen Gerstners mehr qualitativer Natur sind, hat Poiseuille die Grösse $K$,[1]) die sich vom reziproken Wert der Zähigkeit, der sog. Fluidität, bloss durch einen, von der Natur der gewählten Einheiten abhängigen konstanten Faktor unterscheidet, als quadratische Funktion der Temperatur dargestellt:

$$K = a + b \cdot \Theta + c\,\Theta^2.$$

Poiseuille hat aber der numerischen Berechnung der drei Konstanten bloss drei Beobachtungen, nämlich diejenigen bei 5°, 25° und 45° C zu Grunde gelegt und erst im Jahre 1877 hat O. E. Meyer[2]) für die Beziehung zwischen Viskosität und Temperatur eine Formel aufgestellt, in welcher das ganze Poiseuillesche Beobachtungsmaterial Berücksichtigung findet. Diese Formel, deren Gültigkeit sich auf das Temperaturintervall von 0° bis 45° erstreckt, lautet:

$$\eta = \frac{0.01775}{1 + 0.03315 \cdot \Theta + 0.0002437 \cdot \Theta^2}.$$

Die Abweichung zwischen den aus dieser Formel berechneten und den beobachteten Werten der Zähigkeit des Wassers erreicht im Maximum 1%.

[1]) Siehe Seite 10.

[2]) O. E. Meyer, Beobachtungen von Adolf Rosenkranz über den Einfluss der Temperatur auf die innere Reibung von Flüssigkeiten. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1877, Bd. 2, S. 387.

Aus Versuchen, die der vor der Veröffentlichung seiner Arbeit verstorbene Student A. Rosenkranz im physikalischen Institut der Universität Breslau bei Temperaturen oberhalb 45° C mit Wasser unternommen hatte, in der Absicht, den weiteren Verlauf der Temperaturkurve festzulegen, hat O. E. Meyer gefunden, dass oberhalb der angegebenen Temperatur das quadratische Temperaturgesetz der Fluidität nicht mehr gilt, sondern ein anderes an dessen Stelle tritt, nach welchem die innere Reibung weniger stark mit der Temperatur abnimmt. Dieses Gesetz wird ausgedrückt durch die Formel:

$$\eta = \frac{0.01854}{1 + 0.04635 \cdot \Theta}.$$

D. h. für Temperaturen oberhalb 45° C ist die Fluidität des Wassers eine lineare Funktion der Temperatur.

Wir erhalten demnach bei 45° C in dem Verlauf der Kurve, die uns die Abhängigkeit zwischen Temperatur und Fluidität vor Augen führt, eine Diskontinuität, die möglicherweise bloss eine scheinbare ist.

Die Frage nach der Gültigkeit des quadratischen Temperaturgesetzes war ausserdem Gegenstand der Untersuchungen von Grotrian,[1]) Noack[2]) und Knibbs.[3]) Nach Grotrian besteht eine ähnliche Beziehung wie für die Fluidität, auch für das galvanische Leitungsvermögen der Flüssigkeiten. Knibbs hat unter Anbringung aller Korrektionen und unter Berücksichtigung der Resultate sämtlicher Beobachter für die Zähigkeit des Wassers zwischen 0 und 50° C die folgende genaueste Formel aufgestellt:

$$\eta = \frac{0.01786}{1 + 0.03395 \cdot \Theta + 0.000235 \cdot \Theta^2}.$$

---

[1]) Grotrian, Weitere Mitteilungen über den Zusammenhang zwischen der Viskosität und dem galvanischen Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten. Poggend. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1877, Bd. 160, S. 238. Analogien zwischen der Fluidität und dem galvanischen Leitungsvermögen. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1879, Bd. 8, S. 529.

[2]) Noack, Ueber den Einfluss der Temperatur und Konzentration auf die Fluidität von Flüssigkeitsgemischen. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1886, Bd. 27, S. 289. Ueber die Fluidität der absoluten und der verdünnten Essigsäure. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1896, Bd. 28, S. 666.

[3]) Knibbs, Geschichte, Theorie und Bestimmung der Zähigkeit des Wassers nach der Ausflussmethode. Sitzungsber. d. Royal Soc. N. S. Wales, 1895, Bd. 26, S. 408.

Aus eigenen Versuchen, sowie aus Versuchen von Warburg[1]) und von v. Villari[2]) hat Koch[3]) gefunden, dass das Verhalten des Quecksilbers qualitativ von demjenigen anderer Flüssigkeiten nicht verschieden ist. Die Reibungskonstante nimmt mit steigender Temperatur ab und zwar bei niederen Temperaturen rascher als bei höheren; allein die Grösse dieser Änderung ist beim Quecksilber relativ klein. Für das Temperaturintervall von —20° C bis 340° C gilt nach Koch die folgende Formel:

$$\eta = 0.016969 - 0.0000660525 \cdot \Theta + 0.000000020847 \cdot \Theta^2 - 0.000000000002455 \cdot \Theta^3$$

Die Abweichung der aus dieser Formel berechneten Werte von $\eta$ von den beobachteten übersteigt 2% nicht.

Batschinski[4]) findet unter Berücksichtigung der experimentellen Resultate Kochs für Quecksilber die Beziehung:

$$\eta = \frac{a}{T} + b + c \cdot T,$$

worin $T$ die absolute Temperatur, $a$, $b$ und $c$ konstante Grössen bedeuten. In erster Annäherung setzt Batschinski:

$$\eta \cdot T = a$$

und weist nach, dass diese Formel aus Jägers Theorie der Flüssigkeitsreibung abgeleitet werden kann.

Nach Graetz[5]) ist die Reibung zweier Flüssigkeitsschichten auf zwei Ursachen zurückzuführen. Bewegt sich nämlich eine Molekelschicht entlang einer zweiten, so üben infolge der Wirkung der Molekularkräfte die Molekeln der ersten Schicht auf diejenigen der zweiten in der Bewegungsrichtung einen Zug aus, infolge dessen diese zweite Schicht mitgenommen wird, d. h. selbst in Bewegung kommt. Die innere Reibung ist somit wesentlich bedingt durch die Stärke der molekularen Anziehung. Bei

---

[1]) Warburg, Poggend. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1870, Bd. 140, S. 367.

[2]) v. Villari, Mem. dell' Acc. dello Instituto di Bologna, 1876, (3), Bd. 6.

[3]) Koch, Ueber die Abhängigkeit der Reibungskonstanten des Quecksilbers von der Temperatur. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1881, Bd. 14, S. 1.

[4]) Alex. Batschinski, Ueber das Gesetz der Veränderlichkeit der Viskosität des Quecksilbers mit der Temperatur. Abhandl. d. phys. Klasse d. Kais. Gesellsch. v. Freunden d. Naturw. zu Moskau, 1900, Bd. 10, S. 8.

[5]) Graetz, Ueber die Wärmeleitungsfähigkeit von Flüssigkeiten. Wied. Ann. d. Phys. und Chemie, 1885, Bd. 25, S. 337.

höherer Temperatur ist nun die Entfernung der beiden Schichten und ebenso die Entfernung der einzelnen Molekeln innerhalb einer und derselben Schicht grösser als bei niederer Temperatur, und damit ist die molekulare Anziehung, d. h. die Wirkung beider Schichten aufeinander eine entsprechend schwächere. Daraus folgt: Mit steigender Temperatur nimmt die innere Reibung ab. Hierzu kommt aber noch ein zweites. Durch die stärkeren und in grösserer Zahl erfolgenden Stösse der wärmeren Schicht wird ausserdem noch in der Bewegungsrichtung der ersten Schicht auf die zweite ein Bewegungsantrieb ausgeübt, der aber gegenüber dem auf molekulare Anziehung zurückzuführenden, sehr gering ist, aber mit wachsender Temperatur steigt. Graetz schreibt: „Da der von den Stössen herrührende Teil der Reibung mit der Temperatur wächst, so muss die Abnahme der Reibung bei hoher Temperatur geringer werden als bei tieferer Temperatur. Ferner stimmt damit überein, dass die Reibung bei grösserer Dichte (bei gleicher Temperatur) zunimmt, wie es Warburg und v. Babo[1]) bei flüssiger und gasförmiger Kohlensäure beobachtet haben."

Das hier von Graetz über diesen zweiten, die Flüssigkeitsreibung bedingenden Faktor Gesagte ist nach unserem Dafürhalten nicht ganz richtig. Voraussetzung für das Vorhandensein eines derartigen auf molekularen Stössen beruhenden Bewegungsantriebes der einen Schicht auf die andere ist eine Temperaturverschiedenheit der beiden Schichten, und es müsste wohl in dem oben zitierten Satze richtiger heissen: „Da der von den Stössen herrührende Teil der Reibung mit der Temperaturdifferenz der beiden Schichten wächst u. s. f." Dass eine derartige Temperaturdifferenz zwischen zwei benachbarten Schichten besteht, ist vielleicht möglich, darf aber nicht als der allgemein geltende Fall angesehen werden. Alle Beobachtungen über Flüssigkeitsreibung bei wechselnden Temperaturen werden im Gegenteil unter möglichster Innehaltung aller der Vorsichtsmassregeln ausgeführt, unter denen eine gleichmässige Temperatur der reibenden Flüssigkeit erzielt wird. Der von Graetz angestellten Betrachtung unterliegt in Wirklichkeit bloss der Fall, dass innerhalb der Flüssigkeit, und zwar wo möglich in

[1]) Warburg und v. Babo, Ueber den Zusammenhang zwischen Viskosität und Dichtigkeit bei flüssigen, insbesondere bei gasförmig flüssigen Körpern. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1882, Bd. 17, S. 390.

einer zur Gleitfläche senkrechten Richtung, ein Temperaturgefälle und infolge dessen Wärmeleitung existiert.

Da, wie Graetz des weiteren ausführt, die Wärmeleitungsfähigkeit einer Flüssigkeit nur unwesentlich von den Molekularkräften abhängt, so muss bei einer kinetischen Theorie der Flüssigkeiten die Wärmeleitung uns Aufschluss geben über die molekulare Geschwindigkeit und Weglänge, die innere Reibung hingegen über die molekularen Kräfte und über die Abstände der Moleküle.

Aus dem hier gesagten geht hervor, dass die Ansichten von Graetz im Grunde genommen mit den unsrigen übereinstimmen; da aber nach unserem Dafürhalten die Behandlung des fraglichen Punktes in der uns vorliegenden Arbeit von Graetz leicht zu Missverständnissen führen kann, so haben wir geglaubt, auf diesen Punkt etwas näher eingehen zu sollen.

In einer zweiten Abhandlung[1]) hat sodann Graetz, auf Grund der Maxwellschen Theorie, wonach sich die Viskosität eines Körpers als Produkt zweier Faktoren, des Moduls der Rigidität ($E$) und der Relaxationszeit ($\tau$) darstellen lässt, eine Formel abgeleitet, die den Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur angeben soll. Unter Relaxationszeit versteht Maxwell[2]) diejenige Zeit, in welcher eine Spannung in einem Körper von ihrem ursprünglichen Wert nach einer Deformation herabsinkt auf $1/E$ ihres Wertes. Den reziproken Wert

$$n = \frac{1}{\tau}$$

nennt man die Relaxationszahl; diese gibt an, wie oft in einer Sekunde eine immer wieder erneute Spannung auf $1/E$ ihres Wertes herabsinkt. Für absolut starre Körper ist $\tau = \infty$ und für dehnbare feste Körper mit elastischer Nachwirkung kann die Relaxationsdauer Tage oder Stunden betragen. Wenn der Körper durch Erhöhung der Temperatur in den flüssigen und endlich in den gasförmigen Zustand übergeht, so wird $\tau$ immer kleiner; für atmosphärische Luft ist nach Maxwell:

$$\tau = 1/5099100000 \text{ Sek.}$$

---

[1]) Graetz, Ueber die Reibung von Flüssigkeiten. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1888, Bd. 34, S. 25.

[2]) Maxwell, Phil. Magazine, 1868, Vol. 35, p. 129.

Mit steigender Temperatur nimmt die Relaxationszahl zu und man kann setzen:

$$n = n_1\Theta + n_2\Theta^2 + n_3\Theta^3 + \ldots\ldots$$
$$= n_1\Theta\ (1 + \alpha_1\Theta + \alpha_2\Theta^2 + \ldots\ldots)$$

Als Nullpunkt der Temperatur $\Theta$ wird hier angenommen die Temperatur absoluter Starrheit des Körpers (Reibung $= \infty$).

Der Modul der Rigidität $E$ ist für feste Körper und Gase bekannt. Bei letzteren ist derselbe mit dem Gasdruck identisch und ist bei der kritischen Temperatur von der Grössenordnung einiger hundert Atmosphären; bei festen Körpern, deren Elastizitätsmodul bekannt ist, beträgt derselbe 100000 bis eine Million Atmosphären. Da $E$ bei Übergang aus dem festen durch den flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand abnimmt, so stellt Graetz die folgende Hypothese auf:

Die Grösse $E$ nimmt mit steigender Temperatur ab und wird bei der kritischen Temperatur $\Theta_0$ gleich dem kritischen Druck $P$; es ist:

$$E = P + b_1\ (\Theta_0 - \Theta) + b_2\ (\Theta_0 - \Theta)^2 + b_3\ (\Theta_0 - \Theta)^3 + \ldots\ldots$$

Die Grössen $b_1$, $b_2$, .... sind Konstante, und aus der Maxwellschen Gleichung

$$\eta = E \cdot \tau = \frac{E}{n}$$

ergibt sich somit:

$$\eta = \frac{P + b_1\ (\Theta_0 - \Theta) + b_2\ (\Theta_0 - \Theta)^2 + \ldots\ldots}{n_1\Theta\ (1 + \alpha_1\Theta + \alpha_2\Theta^2 + \ldots\ldots)}$$

oder:

$$\eta = A\ \frac{\Theta_0 - \Theta}{\Theta}\ \cdot\ (1 + \varkappa_1\Theta + \varkappa_2\Theta^2 + \ldots)$$

worin $A$, $\varkappa_1$, $\varkappa_2$, ... Konstanten sind.

Diese Formel von Graetz hat mit ihren vielen Konstanten eine praktische Bedeutung wohl kaum. Man kann hingegen die Anzahl der Konstanten immer so gross wählen, dass die Formel den sämtlichen Beobachtungen genügt. Graetz nimmt an, dass die Konstanten $x_1$, $x_2$, $x_3$, ... im allgemeinen sehr kleine Grössen sind und dass man daher in der Klammer sämtliche Glieder gegenüber 1 vernachlässigen dürfe. Ist diese Annahme richtig, so ergibt sich die folgende reduzierte Formel:

$$\eta = A \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta}{\Theta}$$

oder wenn wir absolute Temperaturen einführen und mit $T_1$ die Temperatur absoluter Starrheit bezeichnen:

$$\eta = A \cdot \frac{T_0 - T}{T - T_1}.$$

$T_1$ muss jedenfalls tiefer liegen als die Schmelztemperatur des betreffenden Körpers.

Die vorliegende Formel ist von Graetz auf alle Flüssigkeiten angewendet worden, über welche Reibungsbeobachtungen vorliegen und für welche zugleich die kritische Temperatur bekannt ist oder berechnet werden kann. Solcher Flüssigkeiten waren es im ganzen 61; von diesen wurden 54 durch obige Formel gut dargestellt, für die übrigen 7 (ein Äther und sechs Alkohole) reicht hingegen die Formel nicht aus; man erhält ausserdem bei diesen für die Konstante $T_1$ einen Wert, welcher noch in den Bereich des flüssigen Aggregatzustandes fällt. Ungeachtet dessen, dass die Formel von Graetz den Beobachtungen ziemlich gut zu entsprechen scheint, kann diese doch nicht als eine rationelle Formel gelten, weil sie zum Teil auf Annahmen fusst, die einer genügenden Begründung entbehren.

Die von Slotte[1]) angegebene Formel:

$$\eta = \frac{(a+\Theta)^n}{C}$$

ist besonders von Thorpe und Rodger[2]) auf ihre Gültigkeit hin untersucht worden und zwar für Temperaturintervalle, welche bis zum Siedepunkte hinaufreichen. Für eine grosse Zahl von Flüssigkeiten liegt $n$ zwischen 1,6 und 1,9 und hat im Mittel den Wert 1,76. Für die Berechnung der Konstanten $n$ aus zwei Beobachtungen kann die Formel auf die folgende Form gebracht werden:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left[\frac{\frac{d\eta_1}{d\Theta}}{\frac{d\eta_2}{d\Theta}}\right] \frac{n}{n+1}$$

[1]) Slotte, Ueber Reibungskonstanten und andere Konstanten der Flüssigkeiten. Öfvers. af Finska Vet.-Soc. Förhdl. 1894, Bd. 37, p. 11—18. Ueber die innere Reibung der Lösungen einiger Chromate. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1881, Bd. 14, S. 13.

[2]) Thorpe und Rodger, On the Relations between the Viscosity of Liquids and their chemical Nature. Phil. Transactions, 1897, Vol. 189 A, p. 71.

Unter Zugrundelegung des Wertes 1,76 für $n$ ergibt sich für den Exponenten $\frac{n}{n+1}$ der Wert 0,638.[1]) Doch gilt diese Beziehung ebensowenig wie die Slottesche Formel selbst für ganz beliebige Temperaturintervalle.

Auch Perry[2]) hat seinen Beobachtungen über die Viskosität des Wallratöles die Formel von Slotte zu Grunde gelegt; er hat gefunden, dass bei 40° C im Verlaufe der Zähigkeitskurve eine Diskontinuität auftritt. Unterhalb dieser Temperatur gilt die Formel:

$$\eta = 2{,}06 \,.\, (\Theta - 4{,}2)^{-0{,}686}$$

oberhalb 40° C:

$$\eta = 21{,}67 \,.\, (\Theta - 4{,}2)^{-1{,}349}.$$

Eine, auf Veranlassung Perrys unternommene Untersuchung über die Änderung der Dichte des Wallratöles mit der Temperatur ergab bei 40° C eine korrespondierende Diskontinuität, indem bei Erwärmung von 25 auf 40° C die Dichte des Wallratöles abnimmt bis auf den Wert 0,826 um von 40 bis 45° C wiederum auf den Wert 0,876 anzusteigen.

Kann[3]) hat für flüssiges Brom eine der Poiseuille-Meierschen ähnliche Temperaturformel aufgestellt; er fand

$$\eta_\Theta = \frac{D \,.\, T \,.\, (1 + \alpha\Theta)}{1 + a \,.\, \Theta + b\Theta^2 + c\Theta^3}.$$

Hierin bedeutet $D$ die Konstante des Apparates, $T$ die Ausflusszeit für ein gegebenes Flüssigkeitsvolumen, $\Theta$ bedeutet die Temperatur und $\alpha$, $a$, $b$ und $c$ sind Konstante.

Im Jahre 1901 hat Alexius Batschinski[4]) das sog. Parametergesetz aufgestellt, wonach die Viskosität einer Flüssigkeit der dritten Potenz der absoluten Temperatur umgekehrt proportional ist:

$$\eta = \frac{E}{T^3}.$$

---

[1]) Siehe Heydweiller, Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1896, Bd. 59, S. 193.

[2]) John Perry, Liquid Friction. Phil. Mag. 1893, (5), Vol. 35.

[3]) Kann, Ueber die innere Reibung des Broms und dessen Abhängigkeit von der Temperatur. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. Wien, 1897, Bd. 106, S. 431.

[4]) Batschinski, Studien zur Kenntnis der Abhängigkeit der Viskosität flüssiger Körper von der Temperatur und ihrer chemischen Konstitution. Bull. de la Soc. Imp. des Naturalistes d. Moscou, 1901, Nr. 1, p. 1—10.

Die Konstante $E$ ist somit nur noch von der chemischen Individualität der betreffenden Flüssigkeit abhängig und wird Viskositätsparameter genannt. An Hand des umfangreichen Beobachtungsmateriales von Thorpe und Rodger, Pribram und Handl, Gartenmeister und anderer hat Batschinski seine Formel einer weitgehenden Prüfung unterzogen. Dieselbe gibt für viele Flüssigkeiten den Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur recht gut, sie erfährt aber zahlreiche Ausnahmen. Wasser, Anhydride, Säuren und Alkohole erfüllen das Gesetz überhaupt nicht. Die Formel gibt in sehr vielen Fällen eine viel zu geringe Abnahme der Viskosität mit der Temperatur und es kommt ihr daher, zumal sie auf einer rein willkürlichen Annahme beruht, der Charakter eines Naturgesetzes nicht zu.

Interessanter gestalten sich die Untersuchungen, sobald man anfing bei den Beobachtungen über das immerhin ziemlich beschränkte Temperaturintervall, welches zwischen Schmelz- und Siedepunkt der Körper liegt, hinauszugehen. Den Anfang damit machten Warburg und v. Babo[1]) mit ihren Untersuchuugen über die Viskosität der flüssigen und der gasförmig flüssigen Kohlensäure. Es ergab sich, dass die tropfbar flüssige Kohlensäure eine weitaus kleinere Viskosität aufweist als alle bis dahin untersuchten Flüssigkeiten; ihr Reibungskoeffizient bei 15° C ist etwa 15 mal so klein wie derjenige des Wassers bei gleicher Temperatur. Es folgten sodann die Beobachtungen von Stoel[2]) und De Haas[3]) über die Viskosität des Methylchlorids bei Temperaturen, welche zwischen dem normalen Siedepunkt und der kritischen Temperatur (dem absoluten Siedepunkt nach Mendelejeff) liegen. Diesen Untersuchungen reihen sich an diejenigen von Heydweiller[4]) an Benzol, Äthylacetat, Isobutylacetat, Äthyläther,

[1]) Warburg und v. Babo, Ueber den Zusammenhang zwischen Viskosität und Dichtigkeit bei flüssigen, insbesondere bei gasförmig flüssigen Körpern. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1882, Bd. 17, S. 390.

[2]) Stoel, Measurements on the Influence of Temperature on the Viscosity of Fluids between the boiling-point and the critical State. Dissertation, Leyden, Febr. 1891.

[3]) De Haas, Measurements concerning the Coeffizient of Viscosity of Methylchloride in absolute Measure between the boiling-point and the critical State. Published in extenso, Dissertation, Leyden, 1894.

[4]) Heydweiller, Der Temperatureinfluss auf die innere Reibung von Benzol und Äthyläther oberhalb ihres Siedepunktes. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1895, Bd. 55, S. 561. Ueber

Äthylbromid und Toluol. Stoel und De Haas stellten die Beziehung auf

$$\eta = C \cdot e^{-\gamma\Theta}.$$

Hierin ist $e$ die Basis der natürlichen Logarithmen, $C$ ist eine Konstante, ebenso

$$\gamma = -\frac{1}{\eta} \cdot \frac{d\eta}{d\Theta}$$

der sog. relative Temperaturkoeffizient der inneren Reibung. Auf Grund seiner Beobachtungen findet Heydweiller, dass „innerhalb eines gewissen Temperaturintervalles, nämlich zwischen den reduzierten Temperaturen[1]) 0,62 und 0,87 die Stoelsche Formel für alle untersuchten Körper mit ziemlicher Annäherung erfüllt ist, sodass dieselbe in dem genannten Temperaturintervall als Interpolationsformel wohl geeignet ist; bei allen untersuchten Flüssigkeiten treten aber auch die gleichen systematischen Abweichungen von der vorstehenden Formel auf, die sich darin äussern, dass der relative Temperaturkoeffizient nicht völlig konstant ist, sondern mit steigender Temperatur bis zu einem Minimum abnimmt, um dann wieder zu wachsen. Unterhalb der Siedetemperatur, sowie in der Nähe der kritischen, werden die Abweichungen erheblich."

Es kann somit auch die Stoelsche Formel nicht als rationelle Formel gelten; in einer solchen müsste das erörterte Verhalten des relativen Temperaturkoeffizienten Berücksichtigung finden.

Aus Heydweillers Beobachtungen verdient ausserdem noch hervorgehoben zu werden, dass innerhalb einzelner Gruppen chemisch verwandter Körper die Temperaturen gleicher innerer Reibung ziemlich genau die nämliche Reihenfolge innehalten wie die kritischen Temperaturen und dass in roher Annäherung die Unterschiede der ersteren denen der letzteren entsprechen. Von dieser Regel sind ausgenommen die Alkohole und das Wasser.

---

die innere Reibung von Flüssigkeiten (vorläufige Mitteilung). Jahresberichte d. schles. Gesellsch. f. vaterländische Kultur, Naturw. Sektion, Sitzung vom 8. Jan. 1896. Die innere Reibung einiger Flüssigkeiten oberhalb ihres Siedepunktes. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1896, Bd. 59, S. 193.

[1]) Nach Van der Waals und Ostwald versteht man unter der reduzierten Temperatur eines Körpers den Quotienten aus seiner absoluten Temperatur in seine kritische Temperatur.

Die von Kamerling Onnes[1]) aus Van der Waals Theorie der übereinstimmenden Zustände abgeleitete Formel:

$$\frac{\eta . V^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{MT_k}} = \text{Konst.}$$

worin

$V$ das Molekularvolumen,
$M$ das Molekulargewicht,
$\eta \cdot V^{\frac{2}{3}}$ die molekulare Flächenreibung,
$T_k$ die kritische Temperatur

bedeutet, bewährt sich, wie Heydweiller angibt, bei niederen Temperaturen nicht, besser bei höheren und vollkommen vielleicht erst bei der kritischen Temperatur.

Es sei uns an dieser Stelle gestattet, auf eine Ungenauigkeit aufmerksam zu machen, die sich bei der mathematischen Herleitung der Formel, nach welcher Heydweiller die Werte der Reibungskonstanten berechnet, eingeschlichen hat. Auf Seite 567[2]) wird die beim Strömen der Flüssigkeit in der Kapillaren geleistete Arbeit berechnet und Heydweiller setzt nun diese Arbeit gleich dem Produkte aus der Reibungskraft an der inneren Wandung der Kapillaren in die mittlere Geschwindigkeit der sämtlichen Flüssigkeitsschichten. Diese Rechnung ist anfechtbar. Am Umfang und in der Mitte der Kapillaren wird keine Arbeit geleistet, denn am Umfang ist der Weg und in der Mitte die Reibungskraft gleich Null, weil daselbst die Verschiebungsgeschwindigkeit $\frac{dv}{dy}$ gleich Null ist. Die geleistete Arbeit muss in diesem Falle durch ein Integral dargestellt werden und die Rechnung mit einer mittleren Geschwindigkeit ist nicht statthaft. Immerhin scheint diese Ungenauigkeit auf die endgültigen Beobachtungsresultate einen merklichen Einfluss nicht zu haben, was daraus hervorgeht, dass eine mit Wasser nach dieser Versuchsmethode ausgeführte Beobachtung zu Resultaten führt, die mit den bereits bekannten Zahlen gute Übereinstimmung zeigen.

---

[1]) Kamerlingh Onnes, The coeffizients of Viscosity for Fluids in corresponding states. Communications from the Laboratory of Physics at the University of Leyden. Nr. 2.

[2]) Heydweiller, Der Temperatureinfluss auf die innere Reibung von Benzol und Äthyläther oberhalb ihres Siedepunktes. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1895, Bd. 55, S. 567.

Während die zuletzt genannten Forscher die Zähigkeit von Flüssigkeiten untersuchten bei Temperaturen, bei denen dieselben nur noch unter dem Druck ihres eigenen gesättigten Dampfes im flüssigen Zustande erhalten werden können, liegen andererseits auch Versuche an unterkühlten Flüssigkeiten vor. G. Tammann[1]) hat nach der von Stokes[2]) angegebenen und von O. G. Jones[3]) zuerst zur Anwendung gebrachten Methode der Fallgeschwindigkeit kleiner Kügelchen in Flüssigkeiten die Zähigkeit bei Temperaturen untersucht, welche tiefer liegen als der normale Schmelzpunkt der betreffenden Flüssigkeiten. Die experimentelle Schwierigkeit liegt in diesem Falle besonders darin, Kristallisation die durch Erschütterung leicht herbeigeführt werden kann, zu verhüten. Die an Betol, Piperin und anderen organischen Stoffen ausgeführten Beobachtungen haben ergeben, dass beim normalen Schmelzpunkt, vorausgesetzt, dass eine Kristallisation nicht eintritt, die Zähigkeitskurve keine Unstetigkeit erleidet. Mit fallender Temperatur nimmt die Viskosität zunächst langsam zu, dann immer schneller und innerhalb eines bestimmten Temperaturgebietes, des sog. Erweichungsgebietes, ändert sich die Viskosität schneller als jede andere Eigenschaft des Körpers, indem nun der Körper aus dem tropfbar flüssigen in den amorphen festen Zustand übergeht. Auf die Grössenordnung der Viskosität lässt sich demnach keine Definition des flüssigen und des festen Aggregatzustandes gründen. Nach Tammann genügt innerhalb des Erweichungsgebietes eine Exponentialfunktion mit einer Konstanten und der Temperaturabnahme im Exponenten nicht, um die rapide Änderung der Viskosität mit der Temperatur wiederzugeben.

Ähnliche Erscheinungen haben auch wir beim Ricinusöl beobachten können. Bei einer Temperatur, die zwischen 0° und 6° C liegt, trat unter bestimmten, unsererseits nicht näher festgestellten Bedingungen spontane Kristallisation ein, indem die Glyzeride der Ricinolsäure sich in fester Form ausschieden, was sich jeweils durch eine mehr oder weniger starke Trübung der Flüssigkeit zu erkennen gab. Daneben konnte man aber die nämliche

---

[1]) Tammann, Ueber die Viskosität unterkühlter Flüssigkeiten. Zeitschr. f. phys. Chemie, 1899, Bd. 28, S. 17.

[2]) Stokes, Cambridge Philos. Transaktions, Vol. 8.

[3]) O. G. Jones, The Viskosity of Liquids. Phil. Magazine, 1894, (5), V. 37, p. 451.

Flüssigkeit mittelst fester Kohlensäure bis auf sehr tiefe Temperaturen abkühlen, ohne dass eine Diskontinuität der Eigenschaften zu erkennen war. Der Körper blieb glashell und durchsichtig und nahm unter dem Einfluss grosser Kälte eine teigartige Konsistenz an. Die Gestalt unserer Zähigkeitskurve weist darauf hin, dass wir uns zwischen 5° und 25° C bereits im Erweichungsgebiet des Ricinusöls befinden.

---

Die besondere Gestalt der Kurve, welche uns die Abhängigkeit der Zähigkeit des Ricinusöls von der Temperatur versinnbildlicht (siehe Tafel VI), legte uns die Vermutung nahe, dass wir es mit einer Hyperbel zu tun haben, deren reelle Achse zur $\Theta$-Achse unseres Koordinatensystems unter ca. 50° geneigt ist. Diese Vermutung erwies sich jedoch als unrichtig, indem die auf diese reelle Achse transformierten[1]) Wertpaare $\eta\Theta$ die Gleichung einer Hyperbel nicht erfüllen.

Wir gingen alsdann dazu über, die verschiedenen bereits bekannten Temperaturformeln in dem vorliegenden Fall auf ihre Gültigkeit hin zu untersuchen. Die rechnerische Prüfung der Formeln von Poiseuille, Graetz, Slotte und Batschinski ergab jedoch, dass dieselben bei weitem nicht ausreichen, die rapide Änderung der Fluidität mit der Temperatur wiederzugeben. Es wurde in allen diesen Fällen aus den vorhandenen Beobachtungen eine grössere Zahl von Werten einer Konstanten der betreffenden Formel ermittelt und die erhaltenen Werte in einer Tabelle zusammengestellt. Bei den oben erwähnten Formeln waren die Schwankungen in den Werten dieser Konstanten jeweils so bedeutend, dass zum vornherein davon abgesehen werden musste, die gesuchte Beziehung durch eine dieser Formeln darzustellen. Eine verhältnismässig gute Übereinstimmung, wenigstens innerhalb bestimmter Grenzen, zeigt die Formel von Stoel:

$$\eta = C \cdot e^{-\gamma\Theta}.$$

---

[1]) Die Umrechnung der 20 Wertepaare $\eta\Theta$ auf neue Koordinaten, wurde in zuvorkommender Weise von Herrn Hans Kestenholz, Versicherungsbeamter in Basel, mittels der Rechenmaschine vorgenommen und spreche ich ihm auch an dieser Stelle für seine freundschaftliche Mühewaltung den besten Dank aus.

Der relative Temperaturkoeffizient der innern Reibung

$$\gamma = -\frac{1}{\eta} \cdot \frac{d\eta}{d\Theta}$$

ist in der folgenden Tabelle für die verschiedenen Temperaturen gegeben.

**Tabelle 16.**

| $\Theta$ °C | $\gamma$ | $\Theta$ °C | $\gamma$ | $\Theta$ °C | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 0.08760 | 17 | 0.08617 | 28 | 0.07293 |
| 7 | 0.08831 | 18 | 0.08344 | 29 | 0.07213 |
| 8 | 0.08841 | 19 | 0.08235 | 30 | 0.07095 |
| 9 | 0.08922 | 20 | 0.08367 | 31 | 0.06770 |
| 10 | 0.09045 | 21 | 0.08388 | 32 | 0.07107 |
| 11 | 0.09296 | 22 | 0.08333 | 33 | 0.07397 |
| 12 | 0.09524 | 23 | 0.08344 | 34 | 0.07206 |
| 13 | 0.09490 | 24 | 0.08215 | 35 | 0.07279 |
| 14 | 0.09362 | 25 | 0.07834 | 36 | 0.07141 |
| 15 | 0.09260 | 26 | 0.07450 | 37 | 0.06559 |
| 16 | 0.09019 | 27 | 0.07398 | 38 | 0.05814 |

Wie ersichtlich ist $\gamma$ nicht völlig konstant, es macht sich zunächst ein Anwachsen, hernach ein Heruntergehen dieser Grösse bemerkbar. Immerhin ist die Änderung von $\gamma$, im Vergleich zu den gewaltigen Änderungen, die in den Werten der Konstanten der übrigen Formeln vorliegen, relativ klein. Während die Versuche Heydweillers[1]) ergeben haben, dass der relative Temperaturkoeffizient mit steigender Temperatur bis zu einem Minimum abnimmt, um dann wieder zu wachsen, ist bei unsern Versuchen mit Ricinusöl, gerade das Umgekehrte zu beobachten.

Die Stoelsche Formel kann auch in der Form:

$$\log \eta = \log C - \gamma \Theta . \log e$$

geschrieben werden; wir setzen:

$$\log C = a$$
$$\gamma . \log e = b$$

[1]) Heydweiller, Der Temperatureinfluss auf die innere Reibung von Benzol und Äthyläther oberhalb ihres Siedepunktes. Wied. Ann. d. Phys. u. Chemie, 1895, Band 55 Seite 561.

und erhalten:

$$\log \eta = a - b\Theta.$$

Tragen wir nun die Werte von $\log \eta$ mit den entsprechenden Werten von $\Theta$ in ein Koordinatennetz ein, so erhalten wir nicht eine einzige gerade Linie, sondern eine Kurve, welche aufgefasst werden kann als zwei unter einem sehr stumpfen Winkel zu einander geneigte Gerade, die sich ungefähr beim Punkte 21° C schneiden (siehe Tafel VI). Die Stoelsche Formel gilt mit guter Annäherung für jeden einzelnen Kurvenast. Die hier sich ergebende Diskontinuität ist ähnlicher Art wie diejenige, die Perry[1]) bei seiner Untersuchung der Viskosität des Wallratöles gefunden hat.

Wir berechnen nun für die beiden Kurvenäste die Konstanten der Stoelschen Formel unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate. Wir setzen:

$$\mathrm{Log}\, \eta = \varepsilon$$

und erhalten aus der Relation:

$$\varepsilon + b\Theta - a = 0$$

zur Bestimmung der Konstanten $a$ und $b$ die folgenden Ausdrücke:

$$a = \frac{[\varepsilon][\Theta^2] - [\varepsilon\Theta][\Theta]}{n[\Theta^2] - [\Theta]^2}$$

$$b = \frac{[\varepsilon][\Theta] - n.[\varepsilon\Theta]}{n[\Theta^2] - [\Theta]^2}$$

Für das

**Temperaturintervall: 5° C — 21° C**

erhalten wir aus den Tabelle 12 entnommenen Wertepaaren $\eta\Theta$:

$$[\Theta] = 112{,}4 \qquad [\Theta]^2 = 12633{,}76$$
$$[\Theta^2] = 1536{,}22$$
$$[\varepsilon] = 11{,}54484$$
$$[\varepsilon\Theta] = 138{,}981616$$

Anzahl der Beobachtungen innerhalb dieser Temperaturgrenzen:

$$n = 9.$$

Hieraus folgt:

$$a = \frac{2113{,}8804664}{1192{,}22} = 1{,}7730624$$

$$b = \frac{46{,}805472}{11922{,}22} = 0{,}0392599.$$

---

[1]) Perry, assisted by J. Graham and C. W. Heath, On Liquid Friction. Phil. Magazine, 1893, Bd. 35 (5).

Da nun

$$\log C = a$$

und

$$\gamma = \frac{b}{\log e},$$

worin:

$$\log e = 0{,}4342945,$$

so ergibt sich:

$$C = 59{,}301$$
$$\gamma = 0{,}0903995$$

und innerhalb der Temperaturgrenzen 5° bis 21° C gilt somit die folgende Interpolationsformel:

$$\eta = 59{,}301 \,.\, e^{-0{,}0903995 \,.\, \Theta}.$$

Bis zu welchem Grade der Annäherung die aus dieser Formel berechneten Werte von $\eta$ mit den beobachteten Werten übereinstimmen, zeigt uns Tabelle 17. Dieselbe enthält auch eine Kontrolle für die Richtigkeit unserer Berechnung, indem die Differenzen aus den Logarithmen der berechneten und der beobachteten Werte von $\eta$ die Summe Null ergeben müssen.

**Tabelle 17.**

| $\Theta$ | $\eta$ | | $\Delta$ | | log $\eta$ | | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | beob. | berech. | | in % | beobach. | berechn. | |
| 6.5 | 32.95 | 32.95 | 0.00 | 0.0 | 1.51782 | 1.51787 | +0.00005 |
| 8.7 | 27.14 | 27.01 | —0.13 | 0.5 | 1.43359 | 1.43150 | —0.00209 |
| 9.9 | 24.46 | 24 23 | —0.23 | 0.9 | 1.38850 | 1.38439 | —0.00411 |
| 10.3 | 23.45 | 23.37 | —0.08 | 0.3 | 1.37014 | 1.36869 | —0.00145 |
| 12.8 | 18.64 | 18.64 | 0.00 | 0.0 | 1.27036 | 1.27054 | +0.00018 |
| 13.6 | 17.15 | 17.34 | 0.19 | 1.1 | 1.23433 | 1.23913 | +0.00480 |
| 14.9 | 15.19 | 15.42 | 0.23 | 1.5 | 1.18160 | 1.18809 | +0.00649 |
| 16.1 | 13.70 | 13.83 | 0.13 | 0.9 | 1.13685 | 1.14098 | +0.00413 |
| 19.6 | 10.27 | 10.08 | —0.19 | 1.9 | 1.01165 | 1.00357 | —0.00808 |
| | | | | | | $[\Delta]$ = | —0.00008 |

Der Berechnung von log $\eta$ legen wir die Formel:

$$\log \eta = 1{,}7730624 - 0{,}0392599 \,.\, \Theta$$

zu Grunde.

Die Abweichung zwischen den aus der Interpolationsformel berechneten und den beobachteten Werten von $\eta$ beträgt im Mittel 0.8 %. Der mittlere

wahrscheinliche Fehler der neun Beobachtungen kann aus Tabelle 12 entnommen werden, er beträgt 0,6%. Noch günstiger gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir den Mittelwert aus den mittleren Fehlern der neun Beobachtungen bilden; wir erhalten dafür 0,9%. Die Abweichungen der beobachteten Werte von $\eta$ von der Interpolationskurve dürfen somit als innerhalb der Beobachtungsfehler liegend betrachtet werden und wir gelangen daher zu dem Resultat:

Die Formel von Stoel gibt zwischen 5° und 21° C die Abhängigkeit der Viskosität des Ricinusöls von der Temperatur mit sehr guter Annäherung. Für das

**Temperaturintervall: 21° C — 41° C**

liegen elf Beobachtungen vor. Aus den in Tabelle 12 enthaltenen Werten erhalten wir:

$$[\Theta] = 348.1$$
$$[\Theta^2] = 11353{,}11$$
$$[\Theta]^2 = 121173{,}61$$
$$[\varepsilon] = 6{,}70538$$
$$[\varepsilon\Theta] = 201{,}873164$$

Anzahl der Beobachtungen:

$$n = 11.$$

Hieraus folgt:

$$a = \frac{5854\,8683434}{3710{,}6} = 1{,}5778764$$

woraus:

$$C = 37{,}8335$$

$$b = \frac{113{,}538014}{3710{,}6} = 0{,}0305983,$$

woraus:

$$\gamma = 0{,}0704552$$

und die gesuchte Interpolationsformel lautet:

$$\underline{\eta = 37{,}8335 \,.\, e^{-0{,}0704552 \,.\, \Theta}.}$$

Wie genau die Formel innerhalb der Temperaturgrenzen 21° und 41° C den beobachtenden Werten von $\eta$ entspricht, ersehen wir aus Tabelle 18. Die Abweichung der berechneten Werte von $\eta$ von den beobachteten beträgt im Mittel 1,5%, ist also bedeutend grösser als im ersten Intervall. Der

Mittelwert aus den mittleren Fehlern der elf Beobachtungen beträgt 0,75%. Die Abweichung der beobachteten Werte von $\eta$ von der Stoelschen Interpolationskurve ist somit erheblich grösser als die durch die Beobachtungsfehler bedingte Unsicherheit der einzelnen Werte. Immerhin dürfen wir die Annäherung noch als eine befriedigende bezeichnen.

**Tabelle 18.**

| $\Theta$ | $\eta$ | | $\Delta$ | | Log $\eta$ | | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | beob. | berech. | | % | beob. | berech. | berech.-beob. |
| 22 6 | 7.908 | 7.698 | 0.210 | 2.7 | 0.89808 | 0.88636 | —0.01172 |
| 24.8 | 6.592 | 6.592 | 0.000 | 0.0 | 0.81904 | 0.81904 | 0.00000 |
| 26.4 | 6.003 | 5.890 | 0.113 | 1.9 | 0.77840 | 0.77008 | —0.00832 |
| 28 4 | 5.026 | 5.115 | 0.089 | 1.8 | 0.70119 | 0.70889 | +0.00770 |
| 29.8 | 4.505 | 4.635 | 0.130 | 2.9 | 0.65370 | 0.66605 | +0.01235 |
| 31.9 | 3.940 | 3.998 | 0.058 | 1.5 | 0.59553 | 0 60179 | +0.00626 |
| 33.0 | 3.686 | 3.700 | 0.014 | 0.4 | 0.56652 | 0.56814 | +0.00162 |
| 35.8 | 3.010 | 3.037 | 0.027 | 0.9 | 0.47863 | 0.48246 | +0.00383 |
| 36.5 | 2.862 | 2.891 | 0.029 | 1.0 | 0.45674 | 0.46104 | +0.00430 |
| 38.3 | 2.549 | 2.547 | 0.002 | 0.1 | 0.40631 | 0.40597 | —0.00034 |
| 40.6 | 2.245 | 2.166 | 0.079 | 3.6 | 0.35124 | 0.33559 | —0.01565 |
| | | | | | | | $[\Delta] = +0.00003$ |

Wir haben somit in der Beziehung zwischen der Temperatur und der Viskosität des Ricinusöls in der Gegend von 21° C eine Anomalie, die vielleicht bloss eine scheinbare ist. Der Übergang der Kurve:

$$\text{Log } \eta = a - b\Theta$$

von dem einen Ast zum andern ist ein vollkommen stetiger. Eine korrespondierende Anomalie in der Abhängigkeit der Dichte des Ricinusöls von der Temperatur war nicht bemerkbar; die den elf Dichtbestimmungen entsprechenden Punkte der graphischen Darstellung liegen fast genau in einer geraden Linie, so dass wir als feststehende Tatsache hinstellen:

Wenn bei 21° C eine abnorme Änderung der Dichte stattfindet, so ist sie jedenfalls sehr gering.

Bei der Erklärung dieser auffallenden Erscheinung der Diskontinuität im Verlauf der Kurve, welche uns die Abhängigkeit zwischen den Werten

$\Theta$ und Log $\eta$ darstellt, sind wir auf blosse Vermutungen angewiesen. Möglicherweise ist dieselbe auf eine in der Gegend von 20° C stattfindende chemische Umsetzung eines oder mehrerer Bestandteile des „Ricinusöl“ genannten Flüssigkeitsgemisches zurückzuführen; vielleicht kann auch eine Änderung des gegenseitigen Lösungsverhältnisses dieser Bestandteile oder die Bildung komplexer Molekeln, respektive die Rückbildung einfacher Molekelkomplexe aus komplizierteren die unmittelbare Ursache der Erscheinung bilden.[1])

Der Umstand, dass dem singulären Punkt auf der Viskositätskurve des Ricinusöls keine koordinierte Singularität in der Beziehung zwischen Temperatur und Dichte entspricht, rechtfertigt den Schluss, dass die Dichte einer Flüssigkeit jedenfalls nur in geringem Masse deren Zähigkeit beeinflusst. Dieser Gedanke ist bereits von Poiseuille[2]) ausgesprochen worden, auf Grund seiner Beobachtungen über die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers durch Kapillaren bei Temperaturen in der Nähe von 4° C. Um so auffallender ist es, dass Pacher[3]) im Verlauf der Viskositätskurve des Wassers in der Nähe dieser Temperatur eine Abnormität gefunden hat, die sich in einem Wendepunkt kundgibt, sowie in einem Maximum und Minimum zwischen 4° und 5° C. Diese, den Resultaten der Poiseuilleschen Beobachtungen widersprechenden Abweichungen lassen es

[1]) Zu ähnlichen Vermutungen gelangt auch Kanitz bei seinen Untersuchungen über die Reibung von Salzlösungen und deren Gemischen. Zeitschrift für phys. Chemie, 1897, Bd. 22, S. 336.

[2]) Poiseuille, Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petit diamètre. Compt. rend. 1842, T 15, p. 1167. Auf Seite 1176: „Monsieur Girard avait déjà cherché, sur la demande d. M. Arago, à s'assurer, si à la température de 4 dégrés, à laquelle l'eau atteint son maximum de densité, il ne se présentait un point singulier sur la courbe qui représente les variations de la vitesse d'écoulement en fonction de la température, et il avait reconu que cette circonstance paraissait sans influence sur le phénomène, que la courbe continuait à s'abaisser régulièrement sans paraître influencée par le changement de sens de la marche de la densité. M. Poiseuille a constaté ce résultat par de nouvelles expériences; de sorte que l'on peut admettre maintenant comme un fait parfaitement démontré que si la densité du liquide excerce une influence sur la vitesse de l'écoulement des liquides à travers les tubes de petit diamètre, cette influence est très faible et qu'on ne peut pas lui attribuer les grandes variations que subit cette vitesse avec la température.“

[3]) Pacher, Anomalia dell attrito interno dell 'acqua in prossimita ai 4 gradi. Il Nuovo Cimento, 1899, Vol. 10 (Ser. IV) p. 435.

als wünschenswert erscheinen, dass der Verlauf der Viskositätskurve des Wassers in der Nähe des Dichtemaximums einer nochmaligen genauen Beobachtung unterzogen wird.

Die innere Reibung einer Flüssigkeit ist ausser von der chemischen Konstitutionen von zwei Faktoren abhängig: erstens von Molekulardistanz und damit von der Dichte, zweitens von der Grösse der den Molekeln innewohnenden kinetischen Energie. Der Einfluss der Dichte ist aber jedenfalls sehr gering gegenüber demjenigen der molekularen Energie, so dass bei einer Temperaturänderung die auf Rechnung der Dichtigkeitsänderung zu setzende Vergrösserung oder Verkleinerung der innern Reibung kaum ins Gewicht fällt, gegenüber der starken Änderung, welche durch die Zu- oder Abnahme der molekularen Energie bedingt wird.

Wir dürfen die vorliegende Arbeit nicht abschliessen, ohne Versuche zu erwähnen, die bereits früher in dieser Richtung mit Ricinusöl angestellt wurden. Zum Zwecke der Auffindung einer Analogie zwischen dem elektrischen Widerstand und der inneren Reibung flüssiger Körper hat Koller[1]) bei verschiedenen Temperaturen die Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls durch Kapillaren beobachtet. Eine zahlenmässige Festlegung der Reibungskonstanten wurde indes nicht ausgeführt. Koller findet bei konstantem Druck und für dasselbe Flüssigkeitsvolumen

bei 20° C: Ausflusszeit = 280$^{s}$.
„ 39° C: „ = 90$^{s}$.

Setzen wir die Ausflusszeiten den Zähigkeiten proportional, so ergibt sich für das Verhältnis der Viskosität des Ricinusöls bei 20° C zu derjenigen bei 39° C der Wert 3, 1. Unsere Beobachtungen haben ergeben

bei 20° C: $\eta_{20} = 9{,}86\, GS^{-1}C^{-1}$
„ 39$_0$ C: $\eta_{39} = 2{,}44\, GS^{-1}C^{-1}$

Somit ist das Verhältnis der beiden Zähigkeiten:

$$\frac{\eta_{20}}{\eta_{39}} = 4.0.$$

Unsere Kurve fällt somit bei steigender Temperatur bedeutend rascher ab, als diejenige, nach der Koller die Abhängigkeit zwischen der Temperatur

[1]) Koller, Über den elektrischen Widerstand von Isolatoren. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissenschaften, Wien, naturw. Klasse, Abt. IIa, Bd. 98, S. 894.

und der Ausflussgeschwindigkeit des Ricinusöls darstellt. Die Abweichung im Verlaufe beider Kurven ist zu gross, als dass sie sich auf blosse Beobachtungsfehler zurückführen liesse; vielmehr lässt sich eine Erklärung dafür auf die wahrscheinliche Vermutung gründen, dass das von Koller benutzte Öl in chemischer Hinsicht sich von dem bei unsern Versuchen benutzten, in dem prozentischen Mischungsverhältnis der einzelnen Komponenten mehr oder weniger erheblich unterschied.

---

## Theorie der Bewegung einer zähen Flüssigkeit in der durch Kolben- und Zylinderwandung eines Presskopfes gebildeten ringförmigen Kapillaren von veränderlicher Länge.

Nachdem wir nun die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls zahlenmässig festgelegt und auch deren Abhängigkeit von der Temperatur in Form einer Kurve dargestellt haben, wollen wir nun die in der Einleitung zu dieser Arbeit erwähnten, bei den Kahlbaumschen Pressversuchen beobachteten Erscheinungen, einer theoretischen Betrachtung unterziehen.

Für die Bewegung einer zähen Flüssigkeit gelten die allgemeinen hydrodynamischen Grundgleichungen von Navier; sie lauten:

$$\sigma \cdot \left(X - \frac{du}{dt}\right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = 0$$

$$\sigma \cdot \left(Y - \frac{dv}{dt}\right) - \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) = 0$$

$$\sigma \cdot \left(Z - \frac{dw}{dt}\right) - \frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) = 0$$

Hierin bedeuten:

$X$, $Y$ und $Z$ die Komponenten der Resultante aller äusseren Kräfte nach den drei auf einander senkrechten Richtungen $x$, $y$ und $z$.

$u$, $v$ und $w$ die Komponenten der Geschwindigkeit nach diesen Richtungen,

$\sigma$ die Dichte der Flüssigkeit,

$p$ der an der Stelle $x\,y\,z$ herrschende Druck,

$t$ die Zeit und

$\eta$ die Konstante der innneren Reibung.

Zu den drei Navierschen Differentialgleichungen kommt noch hinzu die Bedingung der Inkompressibilität:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

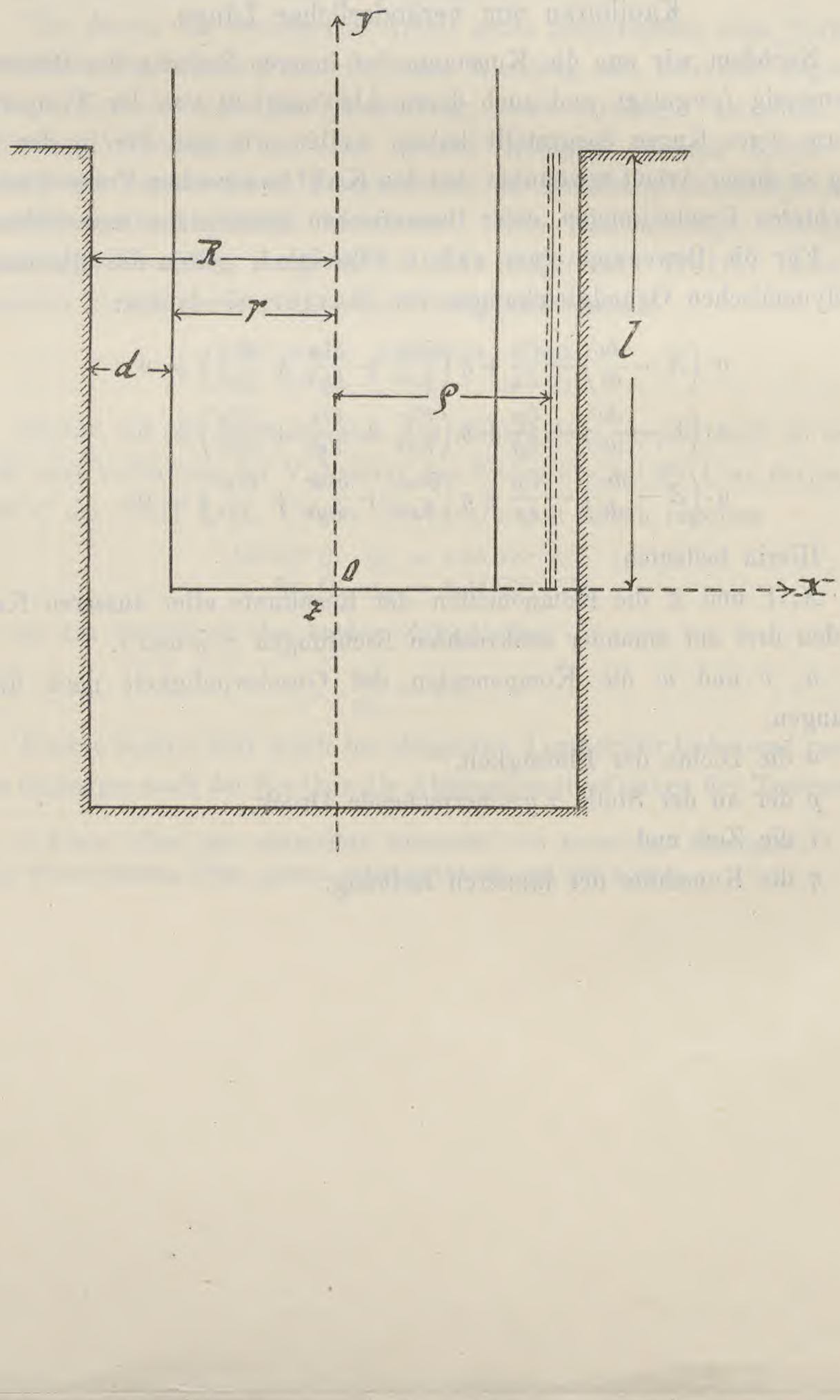
Wir bezeichnen nun mit:

$R$ den Radius der Bohrung des Presskopfes, mit

$r$ den Radius des Stempels und mit

$l$ die Länge des in die Bohrung hineinragenden Teiles des Stempels;

alsdann ist $d = R - r$ die Weite des kapillaren Zwischenraumes zwischen den Wandungen des Stempels und des Presszylinders.



Wir nehmen nun an, der Koordinatenanfangspunkt liege im Mittelpunkt der unteren kreisförmigen Grundfläche des Stempels, die positive $y$Achse falle mit der Achse des Stempels zusammen und habe die Richtung von unten nach oben und die positive $x$Achse liege ebenfalls in der Ebene der Zeichnung; alsdann steht die $z$Achse zur Zeichnungsebene senkrecht und ihre Richtung ist positiv von vorn nach hinten, wenn die positive $x$Achse von links nach rechts verläuft.

In den drei Navierschen Gleichungen haben wir nun zu setzen:

$$X = 0,\ Y = 0,\ Z = 0$$

da wir von der Wirkung der Schwere absehen und ausser dem Druck $p$ keine andere Kraft auf die Flüssigkeit einwirkt.

Da in dem kapillaren Zwischenraum Bewegung nur in der Richtung der $y$Achse stattfindet, so ist auch

$$u = 0 \text{ und } w = 0$$

zu setzen und die Gleichungen gehen über in

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad \text{(a)}$$

$$\sigma \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{\partial p}{\partial y} = \eta \cdot \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \qquad \text{(b)}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0. \qquad \text{(c)}$$

Die Gleichungen (a) und (c) besagen, dass $p$ bloss Funktion von $y$ sein kann. Nun ist ferner

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial v}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial v}{\partial z} \cdot w + \frac{\partial v}{\partial t}.$$

Die Bedingung der Inkompressibilität liefert:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

und die Bedingung des stationären Zustandes ist:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0.$$

Somit ist

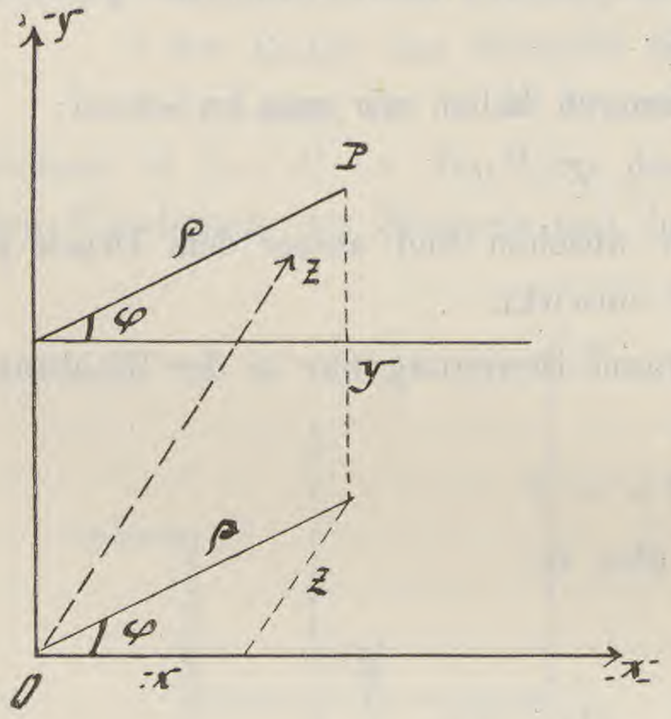
$$\frac{dv}{dt} = 0$$

und Gleichung (b) geht über in

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \eta \cdot \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \qquad \text{(d)}$$

Führen wir nun noch Zylinderkoordinaten $y$, $\varrho$ und $\varphi$ ein, indem wir setzen:

$$x = \varrho \,.\, \cos \varphi$$
$$z = \varrho \,.\, \sin \varphi,$$




so erhalten wir die Gleichung in der Form:

$$\frac{d^2 v}{d\varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{dv}{d\varrho} + \frac{p}{l\eta} = 0. \qquad \text{(I)}$$

Und das ist nun die Gleichung, welche von Herrn Hagenbach für die Bewegung einer zylindrischen Flüssigkeitsschicht angegeben wurde. Wir setzen

$$\frac{p}{l\eta} = \varkappa$$

und integrieren nach Lagranges Methode der Variation der Konstanten.

Die Grenzbedingungen sind:

$$v = 0 \quad \text{für} \quad \varrho = r$$
$$\varrho = R.$$

Wir setzen zunächst:

$$\frac{d^2 v}{d\varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{dv}{d\varrho} = 0$$

$$\frac{d\left(\frac{dv}{d\varrho}\right)}{\frac{dv}{d\varrho}} = -\frac{d\varrho}{\varrho}$$

woraus:

$$\log \left( \frac{dv}{d\varrho} \right) = -\log \varrho + \log C_1$$

$$= \log \frac{C_1}{\varrho}$$

$$\frac{dv}{d\varrho} = \frac{C_1}{\varrho}$$

$$\frac{d^2v}{d\varrho^2} = \frac{\varrho\frac{dC_1}{d\varrho} - C_1}{\varrho^2}$$

indem $C_1$ als variabel zu betrachten ist. Setzen wir die für $\frac{dv}{d\varrho}$ und $\frac{d^2v}{d\varrho^2}$ gefundenen Werte in Gleichung I ein, so folgt:

$$\frac{\varrho\cdot\frac{dC_1}{d\varrho} - C_1}{\varrho^2} + \frac{1}{\varrho}\cdot\frac{C_1}{\varrho} + \varkappa = 0$$

$$\frac{1}{\varrho}\cdot\frac{dC_1}{d\varrho} - \frac{C_1}{\varrho^2} + \frac{C_1}{\varrho^2} + \varkappa = 0$$

$$dC_1 = -\varkappa\varrho\, d\varrho$$

$$C_1 = -\varkappa\cdot\frac{\varrho^2}{2} + C_2.$$

$C_2$ ist eine Konstante. Somit:

$$\frac{dv}{d\varrho} = -\frac{\varkappa}{2}\cdot\varrho + C_2\cdot\frac{1}{\varrho},$$

woraus:

$$v = -\frac{\varkappa}{4}\,\varrho^2 + C_2\,\log\varrho + C_3. \qquad \text{(IIa)}$$

Zur Bestimmung der Konstanten $C_2$ und $C_3$ dienen die Bedingungen an der Grenze:

$$0 = -\frac{\varkappa}{4}R^2 + C_2\,\log R + C_3$$

$$0 = -\frac{\varkappa}{4}r^2 + C_2\,\log r + C_3,$$

woraus:

$$C_2 = \frac{\varkappa}{4}\cdot\frac{R^2 - r^2}{\log\frac{R}{r}}$$

$$C_3 = \frac{\varkappa}{4}\cdot\frac{r^2\log R - R^2\log r}{\log\frac{R}{r}}$$

Die gefundenen Werte der Konstanten in Gleichung IIa eingesetzt, ergibt:

$$v = -\frac{\varkappa}{4}\cdot\varrho^2 + \frac{\varkappa}{4}\cdot\frac{1}{\log\frac{R}{r}}\cdot\left\{R^2\log\frac{\varrho}{r} - r^2\log\frac{\varrho}{R}\right\}$$

oder:

$$v = \frac{\varkappa}{4} \cdot \left\{ \frac{R^2 . \log \frac{\varrho}{r} - r^2 \log \frac{\varrho}{R}}{\log \left(\frac{R}{r}\right)} - \varrho^2 \right\} \qquad \text{(II)}$$

Das ist somit der Ausdruck für die Geschwindigkeit einer zylindrischen Flüssigkeitsschicht vom Radius $\varrho$, wenn:

$$r < \varrho < R.$$

Im Sinne von Gleichung I ist die Geschwindigkeit positiv axial von unten nach oben. Da die Flüssigkeit nur in dieser Richtung und nicht umgekehrt fliessen kann, so muss der für $v$ gefundene Ausdruck notwendig positiv sein, d. h. es muss sein

$$R^2 \log \frac{\varrho}{r} - r^2 \log \frac{\varrho}{R} - \varrho^2 \log \frac{R}{r} > 0.$$

Der Beweis hierfür kann durch Reihenentwicklung geführt werden.

Denkt man sich in der $xy$ Ebene die Geschwindigkeiten der einzelnen Flüssigkeitsfäden senkrecht zur $x$ Achse als Ordinaten aufgetragen, so erhält man als Ort aller der Flüssigkeitsteilchen, welche sich zu Anfang der Zeiteinheit in der Abszissenachse vorfanden, eine Kurve; diese hat bei einer Kapillaren die Form einer Parabel, indem in diesem Fall derjenige Flüssigkeitsfaden, der die grösste Geschwindigkeit besitzt, mit der Achse des Kapillarrohres zusammenfällt. In dem Raum, der durch zwei coaxiale Zylinderflächen begrenzt wird, liegt hingegen der Flüssigkeitsfaden von maximaler Geschwindigkeit nicht mehr in der Mitte, sondern es hat sich derselbe etwas nach der inneren Begrenzungsfläche hin verschoben; denn aus Gleichung IIa folgt:

$$\frac{dv}{d\varrho} = -\frac{\varkappa}{2}\varrho + C_2 . \frac{1}{\varrho}.$$

Wir bestimmen denjenigen Wert $\varrho_o$ von $\varrho$ für welchen $\frac{dv}{d\varrho}$ verschwindet:

$$C_2 - \frac{\varkappa}{2} \cdot \varrho_o^2 = 0,$$

woraus:

$$\varrho_o = \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{2 \log \frac{R}{r}}}$$

Da $\varrho$ stets positiv gerechnet wird, fällt das negative Wurzelzeichen weg.

Für den gefundenen Wert $\varrho_o$ ist die Geschwindigkeit $v$ ein Maximum, denn es ist:

$$\frac{d^2v}{d\varrho^2} = -\frac{\varkappa}{2} - \frac{C_2}{\varrho^2}$$

und da $\varkappa$ und $C_2$ positive Grössen sind, so ist

$$\frac{d^2v}{d\varrho^2} < 0.$$

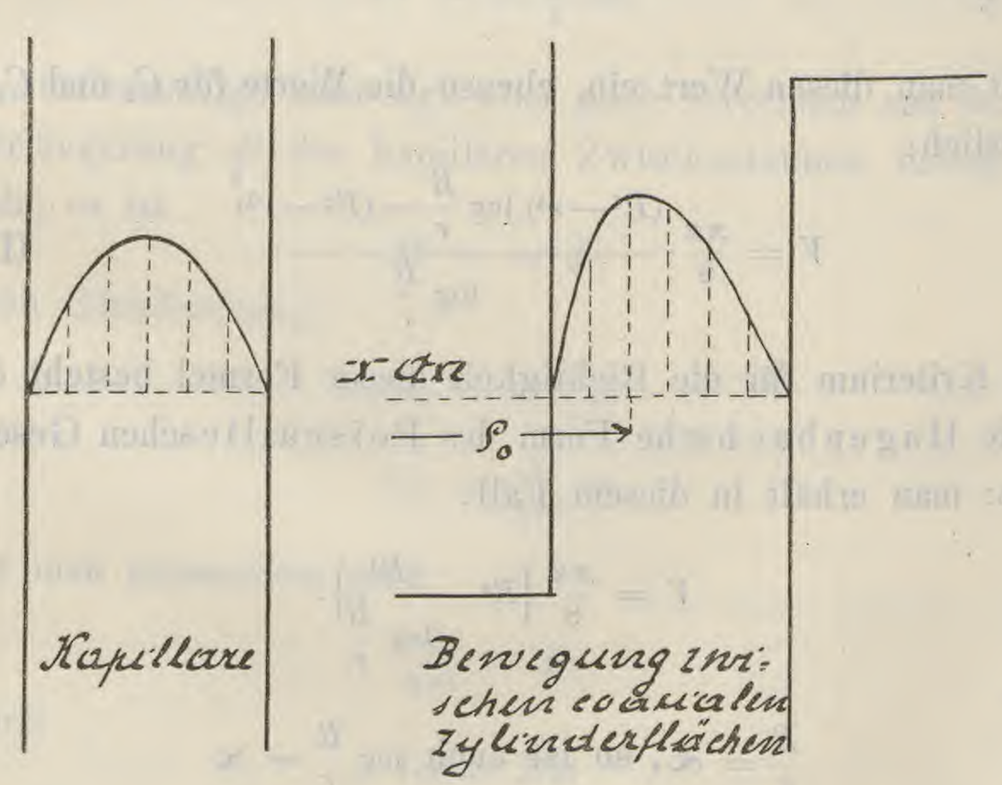
**Beispiel:** Wir nehmen an, es sei

$$R = 11 \text{ Längeneinheiten}$$
$$r = 9 \quad \text{„}$$

Alsdann findet man:

$$\varrho_o = 9{,}983.$$

Der Flüssigkeitsfaden von grösster Geschwindigkeit ist somit um ca. $^1/_{50}$ Längeneinheit von der Mitte aus nach innen verschoben.




Betrachten wir nun zunächst die Länge des in die Bohrung hineinragenden Teiles des Stempels als unveränderlich, d. h. setzen wir

$$l = \text{konstans},$$

so können wir nun das Volumen der in der Zeiteinheit ausgeflossenen Flüssigkeit bestimmen; es ist die Ausflussgeschwindigkeit, der Erguss:

$$V = 2\pi \cdot \int_r^R v \cdot \varrho d\varrho$$

oder, indem für $v$ der Wert eingeführt wird:

$$V = 2\pi \cdot \int_r^R \left(-\frac{\varkappa}{4}\varrho^2 + C_2 \log \varrho + C_3\right) \varrho d\varrho$$

$$= 2\pi \cdot \left[-\frac{\varkappa}{4}\frac{R^4 - r^4}{4} + C_3 \frac{R^2 - r^2}{2} + C_2 \int_r^R \varrho \log \varrho d\varrho.\right]$$

Nun ist:

$$\int \log \varrho \cdot \varrho d\varrho = (2 \log \varrho - 1) \cdot \left(\frac{\varrho}{2}\right)^2$$

somit:

$$\int_r^R \log \varrho \cdot \varrho d\varrho = (2 \log R - 1)\left(\frac{R}{2}\right)^2 - (2 \log r - 1)\left(\frac{r}{2}\right)^2.$$

Setzt man diesen Wert ein, ebenso die Werte für $C_2$ und $C_3$, so ergibt sich schliesslich:

$$V = \frac{\pi\varkappa}{8} \cdot \frac{(R^4 - r^4) \log \frac{R}{r} - (R^2 - r^2)^2}{\log \frac{R}{r}} \qquad \text{III}$$

Ein Kriterium für die Richtigkeit dieser Formel besteht darin, dass für $r = o$ die Hagenbachsche Form des Poiseuilleschen Gesetzes resultieren muss; man erhält in diesem Fall:

$$V = \frac{\pi\varkappa}{8}\left\{R^4 - \frac{R^4}{\log \frac{R}{r}}\right\}.$$

Da

$$\frac{R}{r} = \infty, \text{ so ist auch } \log \frac{R}{r} = \infty$$

und das zweite Glied in der Klammer fällt weg; setzt man ausserdem für $\varkappa$ den Wert, so erhält man die verlangte Formel

$$V = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{R^4 \cdot p}{l}. \qquad \text{IV}$$

Setzen wir nun auch in Formel III für $\varkappa$ den Wert $\frac{p}{l\eta}$ ein, so ergibt sich

$$V = \frac{\pi p}{8\eta} \cdot \frac{(R^4 - r^4) \log \frac{R}{r} - (R^2 - r^2)^2}{\log \frac{R}{r}} \cdot \frac{1}{l}.$$

Der Faktor:

$$\frac{\pi p}{8\eta} \cdot \frac{(R^4 - r^4) \log \frac{R}{r} - (R^2 - r^2)^2}{\log \frac{R}{r}} = A$$

ist eine Konstante. Somit:

$$V = A \cdot \frac{1}{l}.$$

Ist nun, wie in Wirklichkeit die Grösse $l$ **variabel,** so ist das in der unendlich kleinen Zeit $dt$ ausgeflossene Volumen:

$$dV = A \cdot \frac{1}{l} \cdot dt.$$

Die Ausflussmenge lässt sich aber auch berechnen aus der unendlich kleinen Verlängerung $dl$ des kapillaren Zwischenraumes infolge Senkung des Stempels; es ist

$$dV = \pi r^2 dl,$$

woraus durch Gleichsetzung:

$$\pi r^2 dl = A \cdot \frac{1}{l} dt$$

$$l dl = \frac{A}{\pi r^2} dt$$

Setzt man aussserdem noch

$$\frac{A}{\pi r^2} = B,$$

so ergibt sich

$$l dl = B dt$$
$$l^2 = 2Bt + C.$$

Für

$$t = 0 \text{ ist } l = l_o,$$

somit

$$C = l_o^2$$
$$\underline{l^2 = 2Bt + l_o^2.} \qquad \text{V}$$

D. h. die Länge $l$ des in die Bohrung hineinragenden Teiles des Stempels erfüllt als Funktion der Zeit die Gleichung einer Parabel. Da nun:

$$l = \sqrt{2Bt + l_o^2},$$

so folgt:

$$dV = A \cdot \frac{dt}{\sqrt{2Bt + l_o^2}}$$

$$V = A \cdot \int_o^t \frac{dt}{\sqrt{2Bt + l_o^2}}$$

$$V = \frac{A}{B} \cdot \left[\sqrt{l_o^2 + 2Bt} - l_o\right] \qquad \text{IVa}$$

woraus:

$$\underline{V = \pi r^2 (l - l_o).}$$

Diese Formel ist selbstverständlich, denn $l - l_o$ ist die in der Zeit $t$ stattgefundene Senkung des Stempels.

Es kann sich jetzt noch darum handeln, die hergeleiteten Formeln an den Resultaten der Kahlbaumschen Pressversuche zu prüfen. Setzen wir zunächst

$$B = \frac{p}{8\eta} \cdot B'$$

worin

$$B' = \frac{R^4 - r^4}{r^2} - \frac{(R^2 - r^2)^2}{r^2 \log \frac{R}{r}}$$

Bedeutet $d$ die Weite des kapillaren Raumes zwischen den beiden zylinderförmigen Begrenzungsflächen, so können wir

$$R = r + d$$

setzen und erhalten zunächst:

$$R^4 - r^4 = 4r^3 d + 6r^2 d^2 + 4rd^3 + d^4,$$

woraus:

$$\frac{R^4 - r^4}{r^2} = r^2 \left(4\frac{d}{r} + 6\frac{d^2}{r^2} + 4\frac{d^3}{r^3}\right)$$

indem wir das Glied mit $d^4$ vernachlässigen. Setzen wir:

$$\frac{d}{r} = \varepsilon,$$

so ist:

$$\frac{R^4 - r^4}{r^2} = r^2 (4\varepsilon + 6\varepsilon^2 + 4\varepsilon^3).$$

Ferner ist:

$$(R^2 - r^2)^2 = 4d^2r^2 + 4d^3r + d^4$$

$$\log \frac{R}{r} = \log \left(1 + \frac{d}{r}\right) = \frac{d}{r} - \frac{1}{2}\frac{d^2}{r^2} + \frac{1}{3}\cdot\frac{d^3}{r^3}$$

Somit:

$$\frac{(R^2 - r^2)^2}{r^2 \log \frac{R}{r}} = \frac{r^2\left(4\frac{d^2}{r^2} + 4\frac{d^3}{r^3}\right)}{\frac{d}{r} - \frac{1}{2}\frac{d^2}{r^2} + \frac{1}{3}\frac{d^3}{r^3}} = \frac{4r^2\varepsilon^2(1+\varepsilon)}{\varepsilon - \frac{1}{2}\varepsilon^2 + \frac{1}{3}\varepsilon^3}$$

$$= 4r^2\varepsilon(1+\varepsilon)\left(1 - \frac{1}{2}\varepsilon + \frac{1}{3}\varepsilon^2\right)^{-1}$$

$$= 4r^2\varepsilon(1+\varepsilon)\left(1 + \frac{1}{2}\varepsilon - \frac{1}{3}\varepsilon^2 + \frac{1}{4}\varepsilon^2\right)$$

$$= 4r^2\varepsilon(1+\varepsilon)\left(1 + \frac{1}{2}\varepsilon - \frac{1}{12}\varepsilon^2\right)$$

$$= 4r^2\varepsilon\left(1 + \frac{1}{2}\varepsilon - \frac{1}{12}\varepsilon^2 + \varepsilon + \frac{1}{2}\varepsilon^2 - \frac{1}{12}\varepsilon^3\right)$$

$$= 4r^2\varepsilon\left(1 + \frac{3}{2}\varepsilon + \frac{5}{12}\varepsilon^2\right) = 4r^2\varepsilon + 6r^2\varepsilon^2 + \frac{5}{3}\cdot r^2\cdot\varepsilon^3.$$

Wir erhalten also:

$$B' = 4r^2\varepsilon + 6r^2\varepsilon^2 + 4r^2\varepsilon^3 - 4r^2\varepsilon - 6r^2\varepsilon^2 - \frac{5}{3}r^2\varepsilon^3$$

$$B' = \frac{7}{3}r^2\varepsilon^3$$

$$B = \frac{p}{8\eta}\cdot\frac{7}{3}r^2\varepsilon^3 = \frac{p}{8\eta}\cdot\frac{7}{3}r^2\cdot\frac{d^3}{r^3}$$

$$\underline{B = \frac{7}{24}\cdot\frac{pd^3}{r\eta}} \qquad \text{VII a}$$

$d$ ist im allgemeinen eine so kleine Grösse, dass dieselbe einer direkten Messung nicht zugänglich ist, auch lässt sich a priori die Grössenordnung von $d$ nicht einmal schätzungsweise bestimmen. Wir wollen daher den umgekehrten Weg einschlagen und den Wert der Konstanten $B$ aus dem Versuch ermitteln; es lässt sich alsdann die Grössenordnung von $d$ berechnen nach der Formel:

$$d = \sqrt[3]{\frac{24r\eta \,.\, B}{7p}}. \qquad \text{VII b}$$

Setzt man in Formel V:

$$l_o = 0$$

und für $t$ nacheinander die Werte.

$$\tau,\ 2\tau,\ 3\tau,\ \ldots.\ n\tau,$$

so ergibt sich:

$$\begin{aligned} l_1^2 &= 2B\tau \\ l_2^2 &= 2B.2\tau \\ l_3^2 &= 2B.3\tau \\ &\ldots\ldots\ldots \end{aligned}$$

somit:

$$\begin{aligned} l_1^2 : l_2^2 : l_3^2 : \ldots\ldots &= 1:2:3:\ldots \\ l_1 : l_2 : l_3 : \ldots\ldots &= \sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\ldots \end{aligned}$$

oder:

$$\begin{aligned} l_2 &= \sqrt{2}:l_1 = 1.414\ l_1 \\ l_3 &= \sqrt{3}:l_1 = 1.732\ l_1 \\ l_4 &= \sqrt{4}:l_1 = 2.000\ l_1 \\ l_5 &= \sqrt{5}:l_1 = 2.236\ l_1 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}$$

Hieraus ergeben sich nun die Senkungen in den aufeinanderfolgenden unter sich gleichen Zeiträumen $\tau$, wenn bekannt ist $l_1$, das ist diejenige Senkung, die der Stempel erfährt von dem Augenblick an, wo derselbe gerade in die mit Flüssigkeit vollständig gefüllte Bohrung eindringt, bis zu dem Moment, in welchem der erste Zeitraum $\tau$ gerade verflossen ist. Da diese Grösse $l_1$ bei den von Kahlbaum angestellten Versuchen nicht bekannt ist, so können wir aus den oben abgeleiteten Zahlen eine Prüfung unserer Formel an den Resultaten der Beobachtung nicht ausführen. Wir müssen uns daher an dieser Stelle darauf beschränken, aus unseren Beobachtungen den Wert der Konstanten $B$ zu ermitteln, woraus sich alsdann bei Benutzung von Formel VIIb die Weite des kapillaren Zwischenraumes zwischen den Wandungen des Stempels und des Presszylinders berechnen lässt.

Als Kriterium für die Richtigkeit von Formel VIIb kann der Nachweis dienen, dass sie in den Dimensionen homogen ist. Es ist:

$$\begin{aligned} [r] &= C \\ [\eta] &= GC^{-1}S^{-1} \\ [B] &= C^2S^{-1}, \quad \text{denn} \quad .B = \frac{l^2 - l_o^2}{2t} \\ [p] &= GC^{-1}S^{-2}, \end{aligned}$$

woraus:

$$[d] = \sqrt[3]{\frac{[r]\,[\eta]\,[B]}{[p]}} = C.$$

Zur Berechnung der Konstanten $B$ gehen wir aus von der Formel V, wonach

$$B = \frac{l^2 - l_o^2}{2t}$$

ist und worin $l$ und $l_o$ die Längen des in die Bohrung hineinragenden Teiles des Stempels zu Ende und zu Anfang des Zeitraumes $t$ bedeuten.

Eine Beobachtung, die sich durch einen besonders regelmässigen Gang auszeichnet, hat Kahlbaum im 29. Band der „Zeitschrift für anorganische Chemie“ auf Seite 257 veröffentlicht; sie ist in der folgenden Tabelle angegeben.

**Tabelle 19.**

| Zeit | $h$ mm | $\Delta$ mm | Zeit | $h$ mm | $\Delta$ mm |
|---|---|---|---|---|---|
| $8^h\ 45^m$ | 76.2 | | $9^h\ 55^m$ | 44.1 | |
| | | 8.5 | | | 4.3 |
| $8^h\ 55^m$ | 67.7 | | $10^h\ 05^m$ | 39.8 | |
| | | 4.1 | | | 4.1 |
| $9^h\ 05^m$ | 63.6 | | $10^h\ 15^m$ | 35.7 | |
| | | 3.3 | | | 4.2 |
| $9^h\ 15^m$ | 60.3 | | $10^h\ 25^m$ | 31.5 | |
| | | 3.6 | | | 4.3 |
| $9^h\ 25^m$ | 56.7 | | $10^h\ 35^m$ | 27.2 | |
| | | 4.2 | | | 3.9 |
| $9^h\ 35^m$ | 52.5 | | $10^h\ 45^m$ | 23.3 | |
| | | 4.0 | | | 3.8 |
| $9^h\ 45^m$ | 48.5 | | $10^h\ 55^m$ | 19.5 | |
| | | 4.4 | | | |

$h$ bedeutet die Höhe des hervorragenden Stempels, $\Delta$ die im Zeitraum von 10 Minuten stattgefundene Senkung desselben. Es wurde mit Ricinusöl gepresst und zwar betrug der Druck während der zweistündigen Pressung 10000 Atmosphären. Die Temperatur lag vielleicht zwischen 7 und 8° C, so dass wir für die Konstante der inneren Reibung den Wert 30 $GC^{-1}S^{-1}$ annehmen können.

Wir schreiben nun Formel VIIb in der folgenden Form:

$$d = \sqrt[3]{\frac{24\,.\,r\,.\,\eta}{7p}} \,.\, \sqrt[3]{B}$$

und setzen:

$$\sqrt[3]{\frac{24\,r\,\eta}{7p}} = F.$$

Hierin ist:

$$r = 1.0325 \text{ cm}$$
$$\eta = 30 \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$$
$$p = 10000 \text{ kg/cm}^2$$
$$= 981.10^7 \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-2}$$

woraus:

$$\log F = 0.34482 - 3$$
$$F = 0.002212.$$

Somit:

$$\underline{d = 0.002212 \,.\, \sqrt[3]{B}.} \qquad \text{VIIc}$$

Die Länge $l$ des in die Bohrung hineinragenden Teiles des Stempels kann, da die Länge des ganzen Stempels 150 mm beträgt, aus der Höhe $h$ des aus der Bohrung herausragenden Teiles gefunden werden.

Bei der Berechnung der Grösse $B$ ist

$$A = 600 \text{ sec}$$

zu setzen. Tabelle 25 gibt die aus den in Tabelle 24 angeführten Beobachtungen berechneten Werte von $B$ und $d$.

**Tabelle 20.**

| $l_o$ cm | $l$ cm | $B$ | $\log \sqrt[3]{B}$ | $d$ mm |
|---|---|---|---|---|
| 10.38 | 11.23 | 0.01531 | 0.39499—1 | 0.0055 |
| 11.23 | 11.64 | 0.00781 | 0.29755—1 | 0.0044 |
| 11.64 | 11.97 | 0.00649 | 0.27075—1 | 0.0041 |
| 11.97 | 12.33 | 0.00729 | 0.28758—1 | 0.0043 |
| 12.33 | 12.75 | 0.00878 | 0.31450—1 | 0.0046 |
| 12.75 | 13.15 | 0.00863 | 0.31200—1 | 0.0045 |
| 13.15 | 13.59 | 0.00980 | 0.33041—1 | 0.0047 |
| 13.59 | 14.02 | 0.00989 | 0.33140—1 | 0.0047 |
| 14.02 | 14.43 | 0.00972 | 0.32922—1 | 0.0047 |
| 14.43 | 14.85 | 0.01025 | 0.33691—1 | 0.0048 |
| 14.85 | 15.28 | 0.01080 | 0.34447—1 | 0.0049 |
| 15.28 | 15.67 | 0.01006 | 0.33420—1 | 0.0048 |
| 15.67 | 16.05 | 0.01004 | 0.33391—1 | 0.0048 |

Als Mittelwert aus allen 13 Beobachtungen erhält man

$$d = 0.0047 \text{ mm}$$
$$= 4.7 \ \mu$$
$$1 \ \mu = 1 \text{ Micron} = 1/1000 \text{ mm}.$$

Die relativ kleinen Schwankungen in den Werten von $d$ sind vielleicht auf Druckschwankungen zurückzuführen; auch kann sich während des Versuchs die Temperatur und damit die Zähigkeit des Öles etwas geändert haben.

In der Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit bei Pressungen haben wir also ein Mittel eine Grösse zu bestimmen, die einer direkten Messung bis jetzt unzugänglich war. Die Methode setzt aber voraus, dass die Temperatur und die Zähigkeit der Pressflüssigkeit im Apparat mit aller wünschenswerten Genauigkeit bekannt ist. Dass die Weite des kapillaren Raumes zwischen den koaxialen Zylinderflächen der Wandungen von Stempel und Bohrung in unserem Falle sehr klein sein muss, geht daraus hervor, dass der glasharte Stahlstempel die Bohrung des Presszylinders beinahe luftdicht verschliesst.

Wird die Pressung bei höherem Druck vorgenommen, so muss zweifellos eine Erweiterung des kapillaren Zwischenraumes, mithin eine Vergrösserung von $d$ stattfinden. Lässt sich diese Vergrösserung auf dem angegebenen Wege mit hinreichender Genauigkeit feststellen, so muss bei weiterer Vervollkommnung der Methode vielleicht die Möglichkeit vorliegen, den Elastizitätskoeffizienten des deformierten Materials bestimmen zu können. Dass eine solche Deformation, die bei genügend hohen Drucken zu einer bleibenden Gestaltsänderung führen kann, wirklich stattfindet, ist in der Einleitung zu dieser Arbeit dargetan worden.

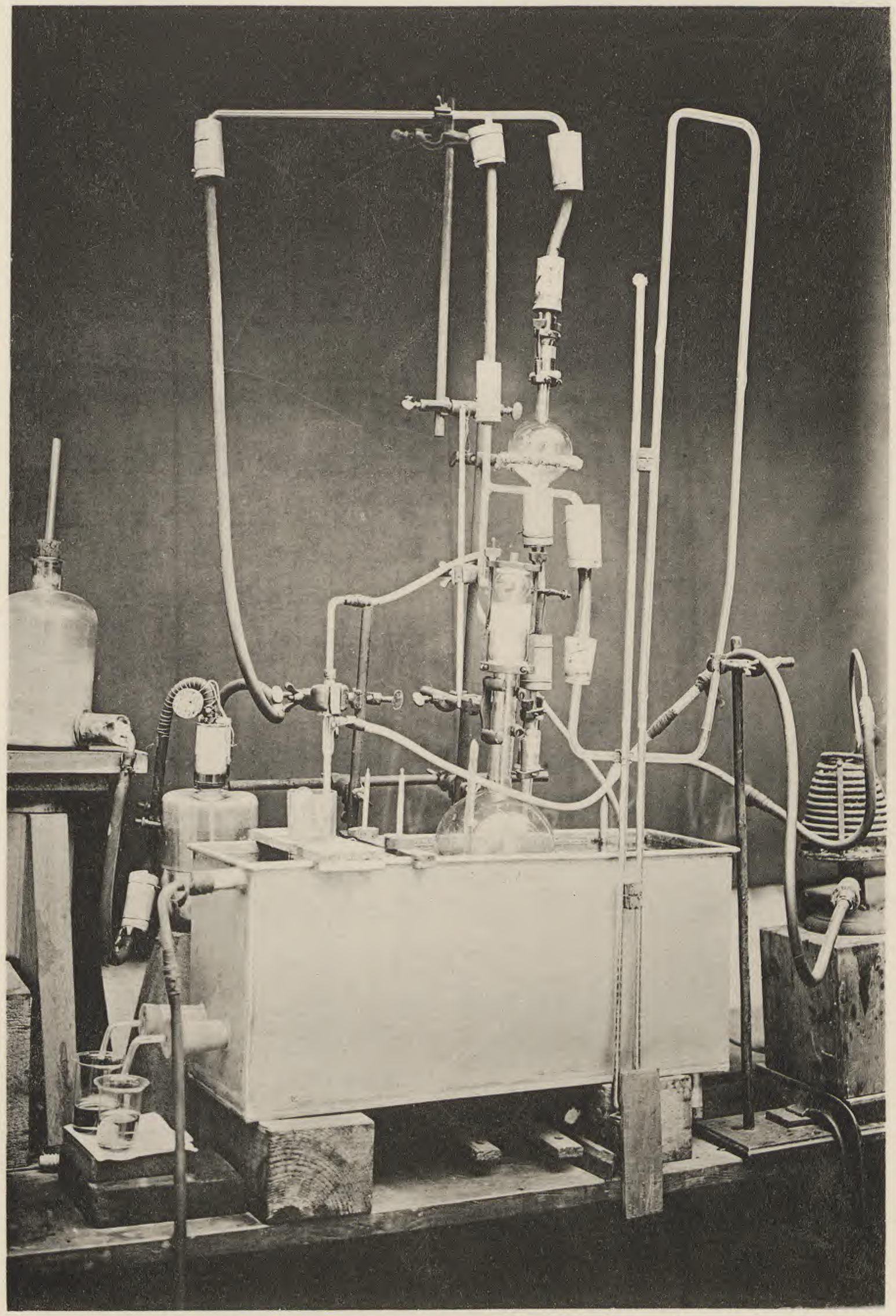
---

Die vorstehende Arbeit hat meinem Mitarbeiter Herrn Dr. S. Räber als Dissertation gedient; es sei darum gestattet, den Anteil eines jeden von uns an derselben einigermassen zu präzisieren. Wie ersichtlich, stieg mir der Gedanke, einmal die Viskosität des Ricinusöls zu bestimmen, während und infolge meiner Arbeiten über das Pressen der Metalle auf. Ich stellte

Herrn Räber dieselbe als Aufgabe, als er mich um ein Thema für eine Dissertation anging, und haben wir gemeinschaftlich die orientierenden Vorversuche angestellt. Konstruktion und Aufbau der Apparate sind im allgemeinen mein Werk. Gemeinsam wurden die ersten Beobachtungen bis zum tadellosen Funktionieren der Apparate vorgenommen und ebenso zum Schluss die graphische Darstellung der Resultate. Alle definitiven Messungen sowie die gesamte mathematische Behandlung der Aufgabe, im besonderen auch der zweite Teil sind ausschliesslich von Herrn Räber durchgeführt.

Basel, physikalisch-chemisches Laboratorium der Universität.

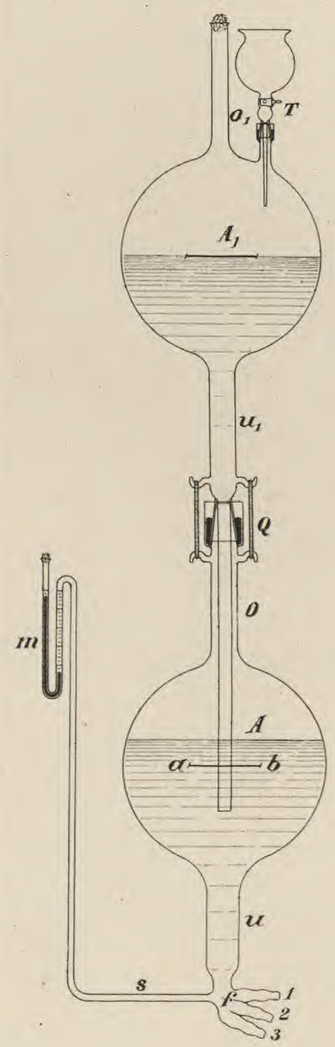
**Georg W. A. Kahlbaum.**



*Kahlbaum & Räber: Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls* *Tafel I.*

Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.

Fig. 1.



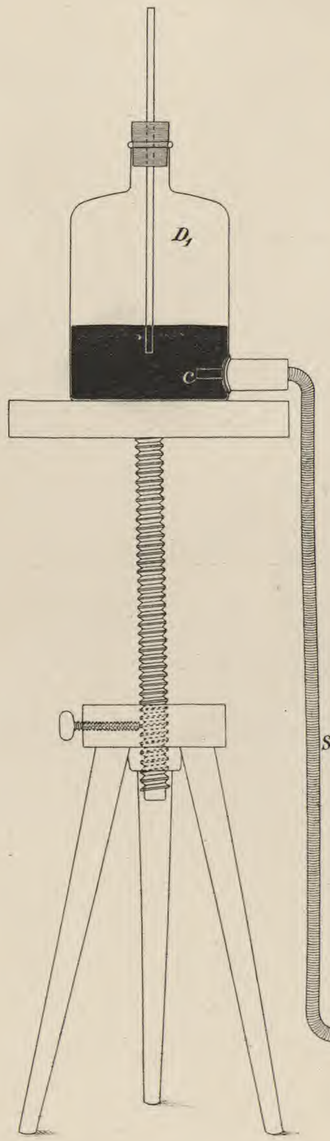




Fig. 2.

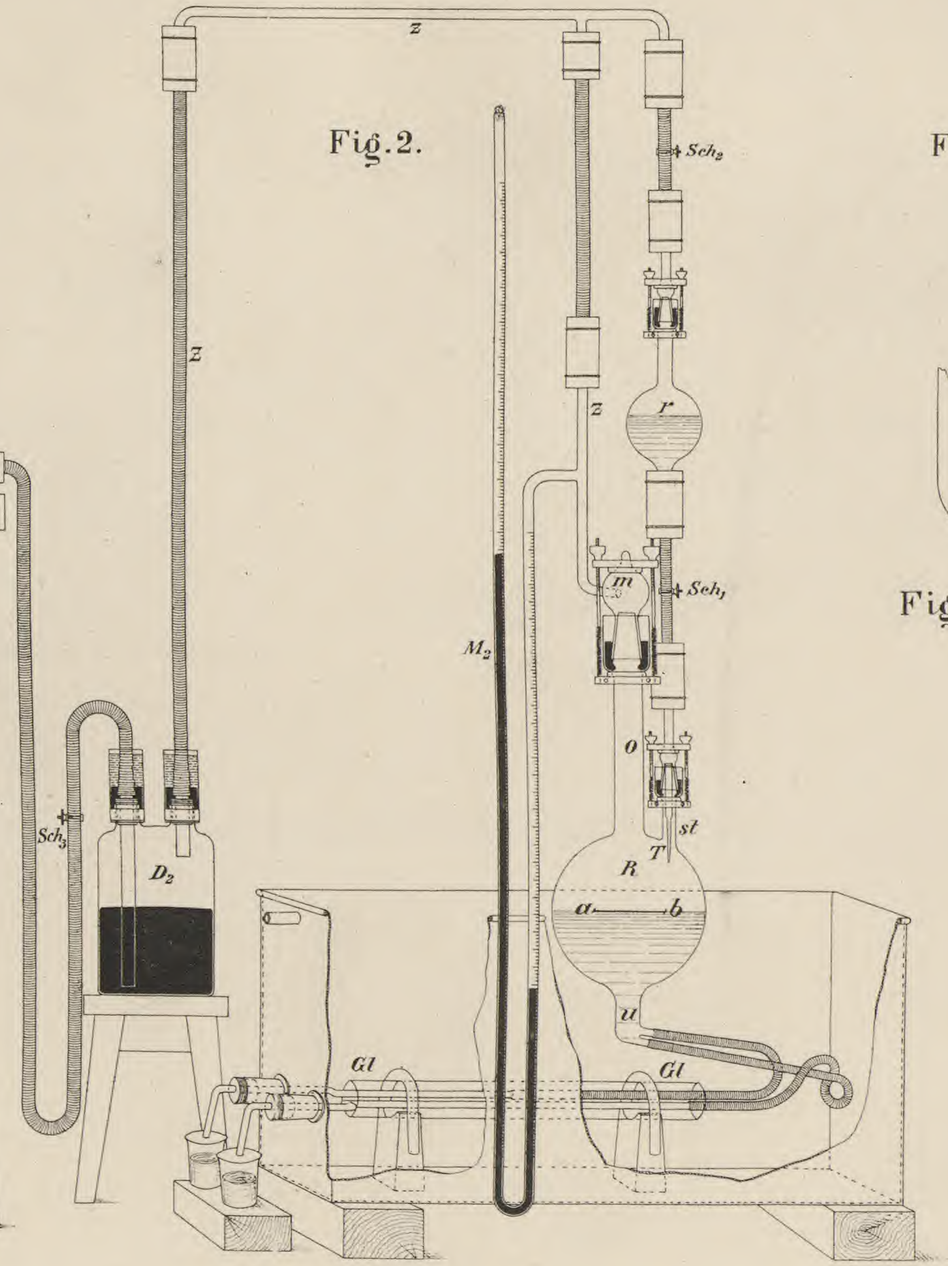



Fig. 3.

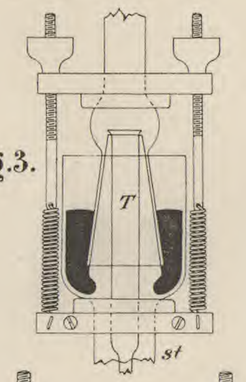



Fig. 4.

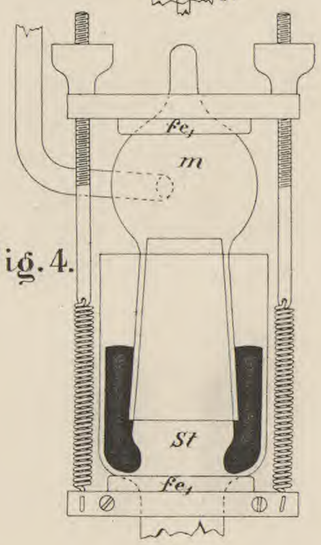
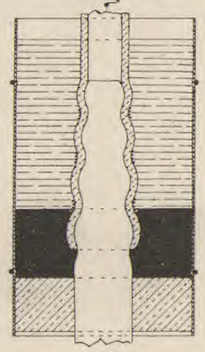


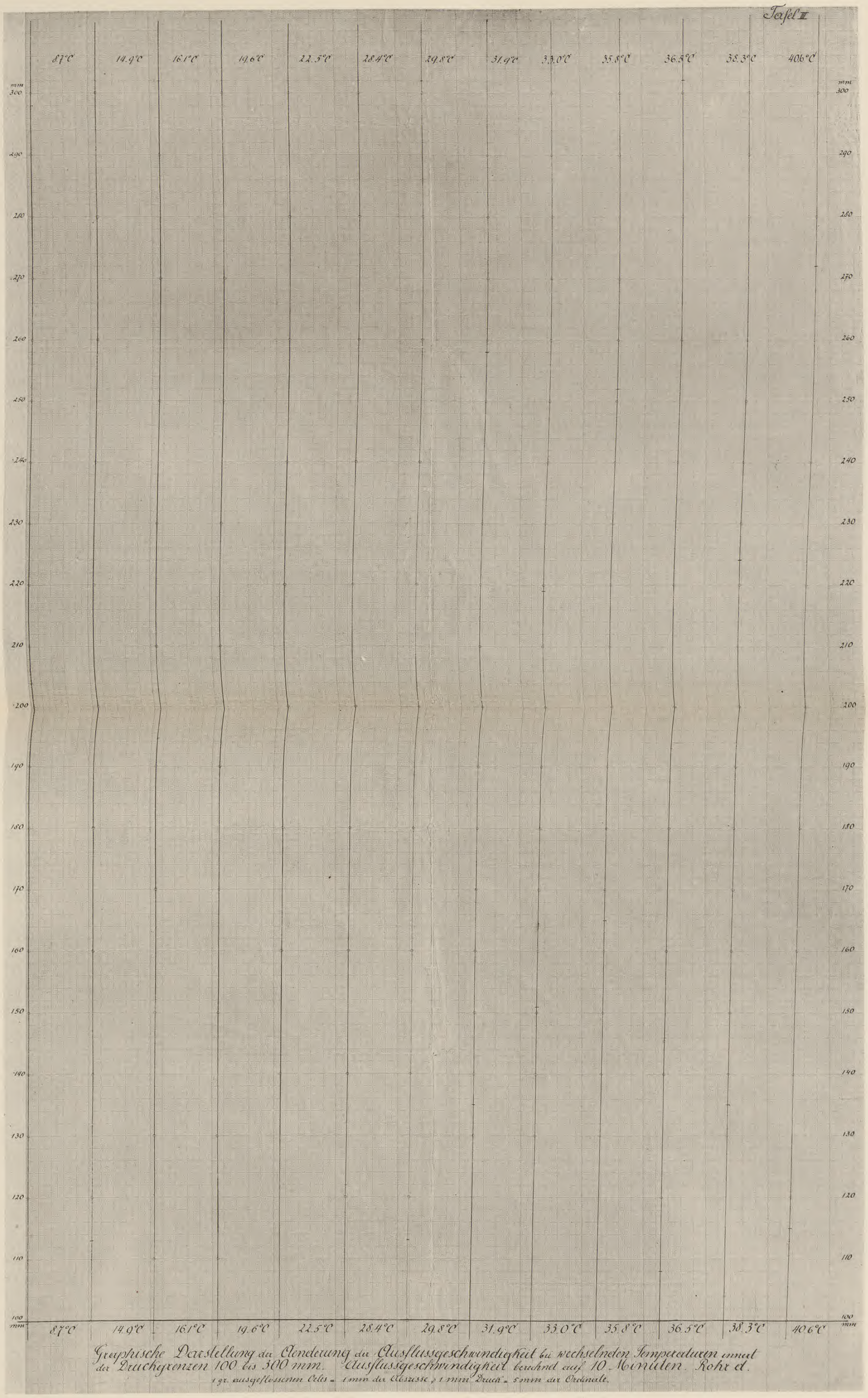

Fig. 5.



*Kahlbaum & Räber: Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls. Tafel II.*

Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.

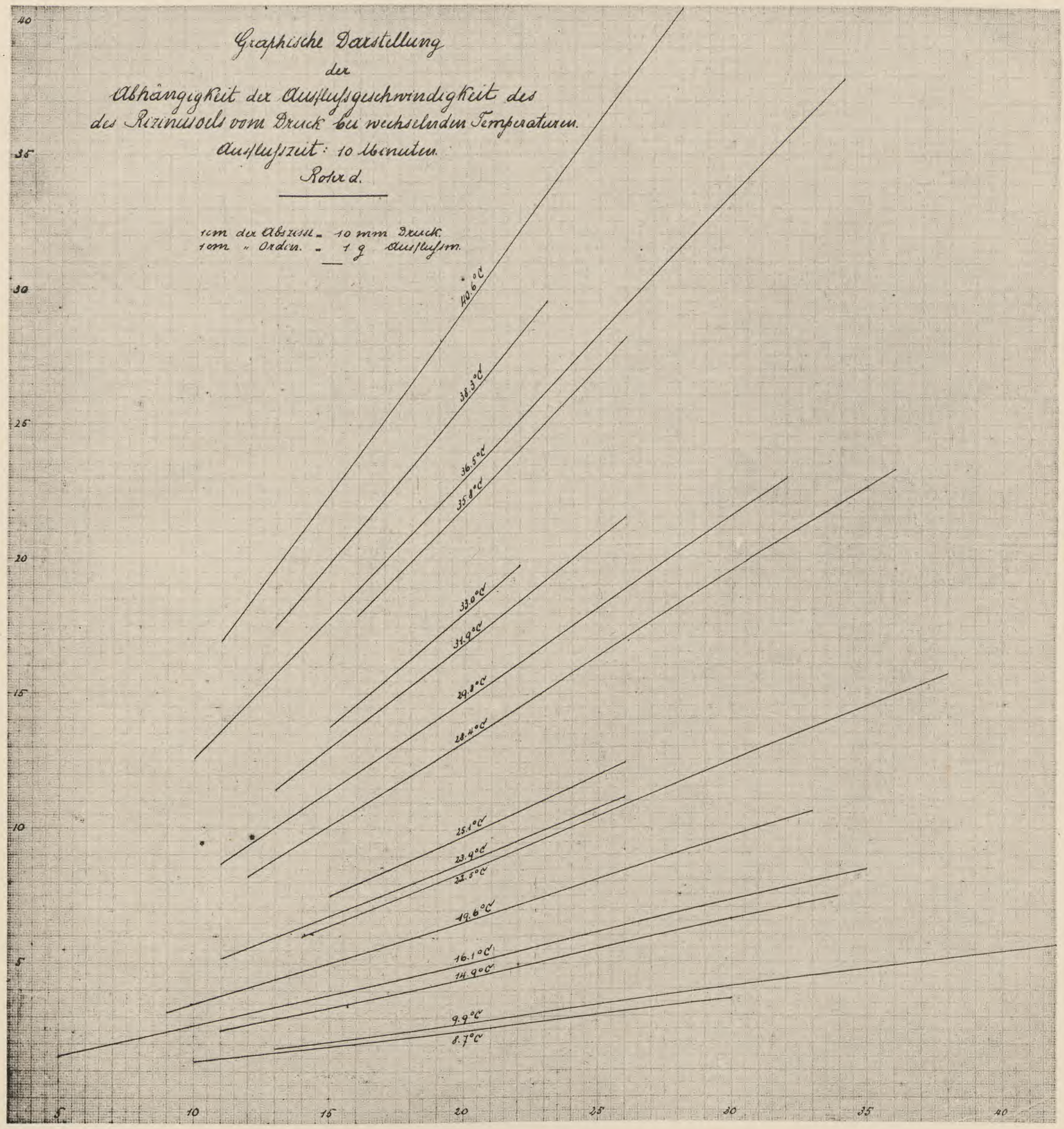
Tafel III




Graphische Darstellung der Aenderung der Ausflussgeschwindigkeit bei wechselnden Temperaturen innert der Druckgrenzen 100 bis 300 mm. Ausflussgeschwindigkeit berechnet auf 10 Minuten. Rohr d.
1 gr. ausgeflossenen Oels = 1 mm der Abszisse, 1 mm Druck = 5 mm der Ordinate.



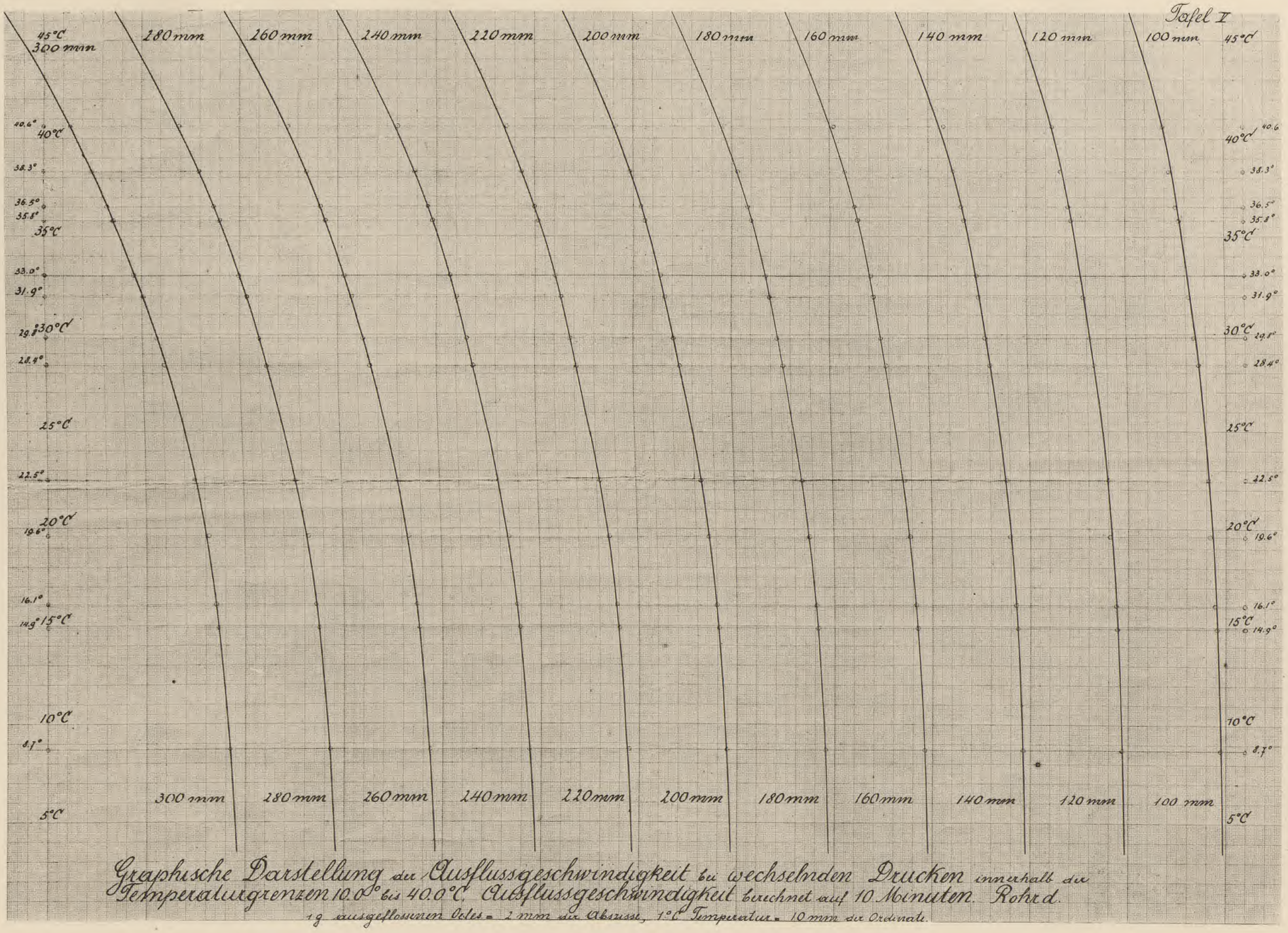
Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.




*Kahlbaum & Räber: Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls. Tafel IV.*

Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.

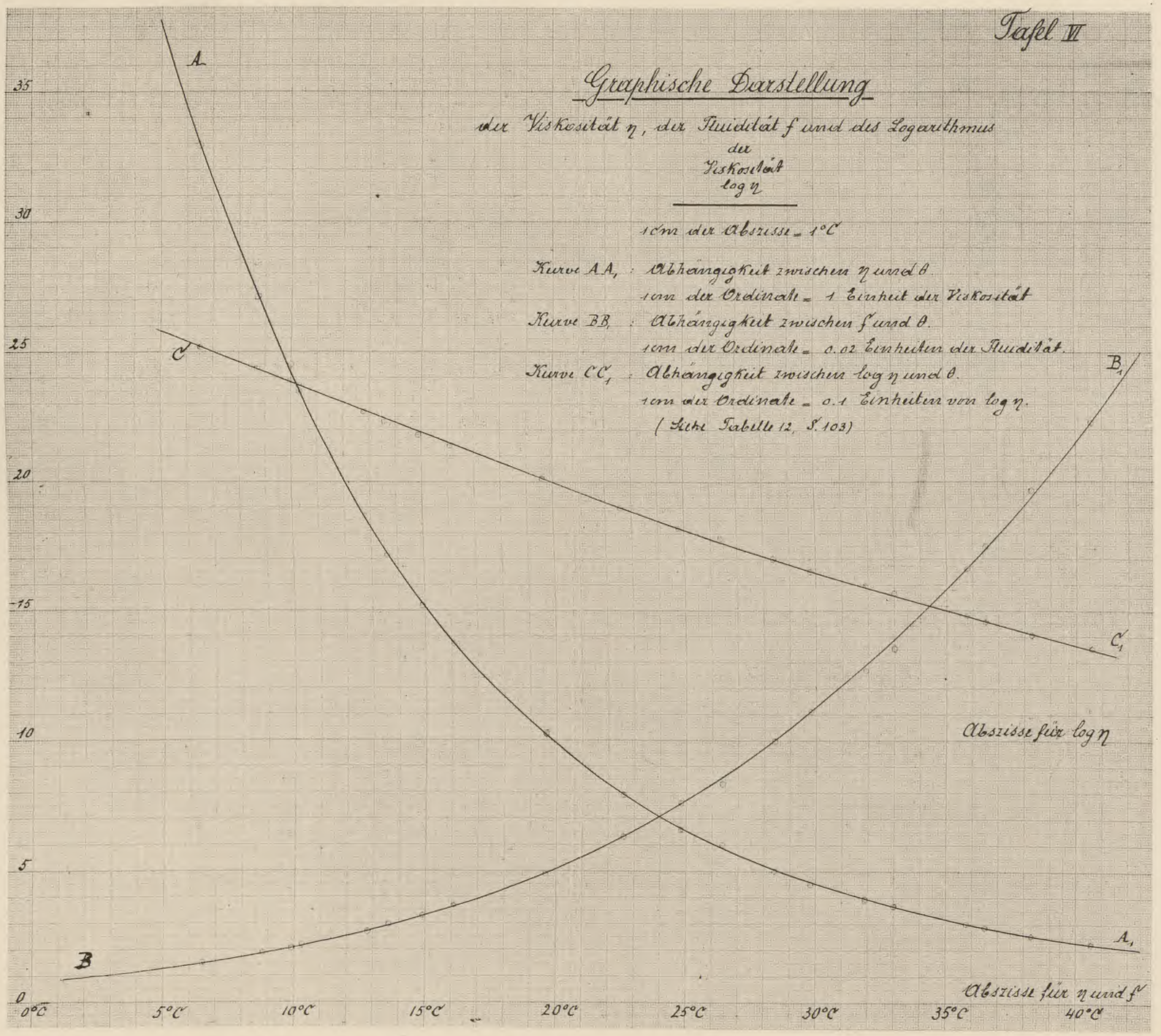
Tafel I




Graphische Darstellung der Ausflussgeschwindigkeit bei wechselnden Drucken innerhalb der Temperaturgrenzen 10.0° bis 40.0°C. Ausflussgeschwindigkeit berechnet auf 10 Minuten. Rohr d.
1 g ausgeflossenen Oeles = 1 mm der Abszisse, 1°C Temperatur = 10 mm der Ordinate.

*Kahlbaum & Räber: Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls. Tafel V.*

Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.




*Kahlbaum & Räber: Die Konstante der inneren Reibung des Ricinusöls. Tafel VI.*

Gebr. Plettner, Lichtdruckanstalt, Halle a. S.

NOVA ACTA.

**Abh. der Kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher**

Band LXXXIV. Nr. 4.

# Wetterlagen und Vogelzug.

## Die Rotkehlchen-Wanderungen

an der

## deutschen Ostseeküste und über den europäischen Kontinent.

Von

**Prof. Ernst Hübner,** Stralsund.

Mit 4 Tafeln Nr. XIX—XXII.

Eingegangen bei der Akademie am 8. Dezember 1904.

**HALLE.**

1905.

Druck von Ehrhardt Karras, Halle a. S.

Für die Akademie in Kommission bei Wilh. Engelmann in Leipzig.

# Einleitung.

Die Luft ist das Element des Vogels. Durch die ausgesprochene Anpassung seines anatomischen Baues an die Grundbedingungen der Atmosphäre ist er vor allem zu jenen überraschenden Ortsveränderungen befähigt, die als regelmässige Wanderungen von Alters her den Menschen interessierten und welche dem Ornithologen und Biologen ein reiches Arbeitsfeld bieten, ohne indessen bislang zu einer vollgültigen Lösung dieses aviphänologischen Problems geführt zu haben. Zwar hat sich nach dem Erscheinen der Zugstrassen-Theorie von Palmén,[1]) welche durch A. von Middendorff[2]) angebahnt und gleichzeitig von R. Wallace[3]) unterstützt und späterhin von Menzbier[4]) für die Vögel Russlands bearbeitet wurde, eine stattliche Zahl von Fachgelehrten und Ornithologen jenen Auffassungen, welche den wandernden Vogel an bestimmt vorgeschriebene, eng begrenzte Wege bindet, ihm ein ausgeprägtes geographisches Unterscheidungsvermögen verleiht und dieses bei den einzelnen Arten traditionell werden lässt, angeschlossen. Aber jene Zugstrassen-Theorie hat bei namhaften Beobachtern, welche ihre Lebensarbeit der biologischen Würdigung der Vogelwelt widmeten, entschiedenen und nachhaltigen Widerspruch gefunden. E. von Homeyer,[5]) G. Gätke[6]) und andere mehr haben seiner Zeit durch direkte langjährige Beobachtungen wesentlich abweichende Ergebnisse erzielt, dem Vogelzuge

---

[1]) J. A. Palmén, Über die Zugstrassen der Vögel. Leipzig 1876.

[2]) A. von Middendorff, Die Isepiptesen Russlands. Petersburg 1855. — Derselbe, Sibirische Reise. Band III. 1873—1874.

[3]) R. Wallace, Die geographische Verbreitung der Tiere. 1876.

[4]) M. Menzbier, Die Zugstrassen der Vögel im europäischen Russland. Moskau 1886.

[5]) E. von Homeyer, Die Wanderungen der Vögel. Leipzig 1881.

[6]) G. Gätke, Die Vogelwarte Helgoland. Braunschweig 1891.

in breiter Front das Wort geredet und gleichzeitig den Nachweis erbracht, dass das bis dahin gesammelte Beobachtungsmaterial noch bei weitem nicht ausreichte, allgemeine biologische Gesetze über die gesamte Vogelwelt abzuleiten und auf Grund eines noch lückenhaften Beobachtungsnetzes und des methodisch nicht gleichartig bearbeiteten und deshalb nicht immer einwandfreien Beobachtungsmaterials von den Wandererscheinungen einzelner Vogelarten auf die Wandergesetze der gesamten paläarktischen Ornis Schlüsse zu ziehen. Zudem haben die Ergebnisse der ornithologischen Beobachtungen über das Auftreten bestimmter Vogelarten an verschiedenen Beobachtungsorten und die daraus hinsichtlich der Form und der Richtung der Wanderungen abgeleiteten Schlüsse mancherlei Widersprüche gezeitigt, weil eben der Vogelzug von der geographischen Lage des Beobachtungsortes und der Beschaffenheit seiner Umgebung in gewissem Grade abhängig sein muss. Selbst über die Einwirkung der meteorologischen Erscheinungen auf den Vogelzug bestehen grundverschiedene Ansichten. Wallace räumte den Witterungserscheinungen überhaupt keinen Einfluss ein, Chr. L. Brehm,[1]) Kessler,[2]) Faber,[3]) Kjärbölling.[4]) E. v. Homeyer, Gätke und Cooke[5]) dagegen erblicken in den Wetterfaktoren eine der wichtigsten Einwirkungen auf den Vogelzug. Nach Faber wandern die Vögel mit verschiedenen Winden, nach Chr. L. Brehm gegen den Wind und nach E. v. Homeyer mit dem Winde. Cooke stellte für gewisse Teile des nordamerikanischen Kontinents die Abhängigkeit der Wanderungen von dem Auftreten barometrischer Depressionen fest.

In neuerer Zeit wiesen Angot[6]), O. Hermann[7]) und H. Hegyfoky[8]) auf den Einfluss der Frühjahrs-Erwärmung bei der Besiedelung der Brut-

---

[1]) Chr. L. Brehm, Der Zug der Vögel. Isis 1828.

[2]) Kessler, Einige Beiträge zur Wanderungsgeschichte der Vögel. Moskau 1853. 1863.

[3]) Fr. Faber, Über das Leben der hochnordischen Vögel. Leipzig 1826.

[4]) Kjärbölling, Förhandl. vid de Skand. Naturforsjette möte Stockholm 1855.

[5]) Cooke, Report on Bird Migration in the Missisippi Valley. 1884. 1885. (Washington 1888.)

[6]) H. Angot in Aquila VI. 1899.

[7]) O. Hermann, Aquila. Band I. 1894; sowie „Vom Zuge der Vögel“ und Aquila Band VI, 1899.

[8]) H. Hegyfoky in Aquila II. 1895.

reviere der Rauchschwalbe und Häcker[1]) auf die Wirkung der Föhnlagen für die Frühjahrs-Wanderung des Rothkelchens hin.

Nur wenige Vogelarten sind nach faunistischer und aviphänologischer Richtung so weit durchgearbeitet, dass wir ein sicheres, einwandfreies Urteil über ihre Wanderungen besitzen, so die Rauchschwalbe durch Angot und O. Hermann, deren Ausbreitungsgebiet nach Brutrevier und Winterherberge, und deren Wandererscheinungen nach Zugdaten und Besiedelungsdauer eingehend untersucht sind. Danach erscheinen die Auffassungen des letztgenannten Autors begründet, dass die Wandervögel beide Zugformen, die Wanderstrassen bei dem Durchzuge und die Verteilung in breiter Front bei der Besiedelung eines grösseren Ländergebietes benutzen, eine Auffassung der Zugerscheinungen, wie sie bereits Chr. L. Brehm durch seine „Heerstrassen“ und die „zigeunerhafte Ausbreitung“ der Vögel betont und Severtzow[2]) durch die Heerstrassen in Westasien vertreten hat.

Die vorliegende Monographie versucht nun die Wandererscheinungen des Rotkehlchens, Erythacus rubeculus L. im Herbst und Frühling für einen bestimmten Beobachtungsort nach Zugdaten, Frequenz und Durchzugsdauer und in direkter Abhängigkeit von ganz bestimmten meteorologischen Ursachen festzulegen. Die Eigenart dieses Vögelchens, welches mit Vorliebe einzeln in Buschwerk und Unterholz auftritt und gegen seine eigenen Artgenossen und Vögel ähnlicher Lebensführung zänkisch und abstossend ist, schliesst das Auftreten dicht gedrängter Wanderschaaren und die Benutzung räumlich eingeengter Wanderstrassen aus. Die Bevorzugung bestimmter Aufenthaltsorte, die charakteristische Bewegung im Freien, die grosse Zutraulichkeit, der nicht zu verwechselnde Lockruf und der eigenartige Gesang sichern dagegen die Erlangung ausgiebigen Beobachtungsmaterials, sodass der Versuch gewagt werden konnte, auch ohne die Wanderdaten eines ausgedehnten Beobachtungsnetzes, nur gestützt auf die Zugerscheinungen an einem einzelnen Beobachtungsorte den Ursachen des eigenartigen Durchzuges des Rotkehlchens im Herbst und Frühling nachzuforschen. Auf Grund der Statistik der Rotkehlchen-Wanderungen im

---

[1]) Häcker: Föhn und Vogelzug. Zool. Gesellschaft 1904.

[2]) H. Severtzow, Bull. de Nat. Moscou 1880. — Ders., Études sur le passage des oiseaux dans l'Asie Centrale. 1875.

Herbst 1899—1901 und der gleichzeitigen meteorologischen Erscheinungen sind die Einwirkungen typischer Wetterlagen auf den Durchzug ermittelt und daraus Gesetzmässigkeiten für die Rotkehlchen-Wanderungen abgeleitet. Schliesslich sind die erzielten Ergebnisse unter Benutzung eines über Neuvorpommern und Rügen erweiterten Beobachtungsnetzes für die Jahre 1902 bis 1904 auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und zu einem Vergleiche zwischen den in der Literatur niedergelegten älteren Beobachtungen über den Durchzug des Rotkehlchens und dem Wetterkarten-Material der Hamburger Seewarte angezogen worden.

## I. Abschnitt.

# Statistik des Rotkehlchenzuges für Herbst 1899—1901. Wanderkarten und Beziehungen zu den Witterungserscheinungen.

(Hierzu Tab. XIX Fig. 1 der beigefügten Abbildungen.)

---

Die Beobachtungen über die Herbstwanderungen des Rotkehlchens sind vorwiegend in der engeren Umgebung Stralsunds, welches sich durch den Wasserreichtum seiner ausgedehnten Stadtteiche, durch die umfangreichen Anlagen und zahlreichen Gärten mit Hecken und dichten Strauchpflanzungen ganz besonders zu diesem Zwecke geeignet erweist, gewonnen und in vielen Fällen durch Kontrollbeobachtungen in der Nachbarschaft dieses Ortes ergänzt worden. Der Zeitraum vom 20. September bis zum 1. Januar umschliesst fast vollständig die Dauer des herbstlichen Durchzuges. Das Rotkehlchen selbst ist Brutvogel in diesem Gebiet, tritt aber nicht gerade häufig auf und noch seltener sind die Fälle, wo einzelne Vögel dieser Art den Winter über an bestimmten Örtlichkeiten des Beobachtungsgebietes dauernd verbleiben.

Die Wanderkarte gewährt einen Überblick über die Unterbrechungen des Wanderfluges, sobald die Rotkehlchen aus ursächlichem Anlass aus den Lüften herabsteigen, um vorübergehend für wenige Stunden, oder für einen vollen Tag oder gar andauernd für eine längere Periode Rast zu machen, daneben über den gröberen Gang der Barometerkurve, über das Auftreten barometrischer Depressionen und Hochdruckgebiete in Nord- und Mitteleuropa und über die Stärke und Richtung des Windes. Andere meteorologische Faktoren, der Gang der Tages-Temperatur, Sonnenscheintage, Regen, winterlicher Schneefall und Eislage erwiesen sich ohne besonderen Belang. Dagegen üben, wie spätere Beobachtungen ergaben, rauhe Sturmwinde, plötzlich

einfallendes Schneegestöber und dichte Seenebel zuweilen Einfluss und zwingen die Rotkehlchen an geeigneten Plätzen Schutz suchend zu rasten. In der Karte selbst sind die drei Jahre 1899, 1900 und 1901 untereinander, die einzelnen Tage der Monate September, Oktober, November und Dezember fortlaufend nebeneinander angeordnet. Das Auftreten der auf dem Herbstzuge rastenden Rotkehlchen ist durch schraffierte Felder an der oberen Grenze jeden Kartenstreifens graphisch dargestellt worden und dabei sind folgende Abstufungen hinsichtlich der Häufigkeit der beobachteten Vögel gewählt worden: Vereinzeltes Vorkommen, wenn ein oder zwei Rotkehlchen in dem abgegrenzten Beobachtungsgebiet wahrgenommen wurden = 1 Quadratfeld Höhe, wenige Vögel: 3—5 Stück = 2 Quadratfelder, ausgebreiteter Bestand: 6—10 Exemplare = 3 Quadratfelder, zahlreiches Auftreten: 11—15 Vögel = 4 Quadratfelder und endlich sehr viele Rotkehlchen, wenn an allen geeigneten Plätzen die Wandervögel so dicht aneinander auftreten, dass sie gegenseitig in Berührung kommen mussten = 5 Quadratfelder Höhe. Vollständig ausgefüllte Felder zeigen an, dass die Vögel den ganzen Tag hindurch wahrgenommen wurden, eine Spitze nach unten links veranschaulicht Vorkommen am Morgen, eine solche in der Mitte Vorkommen in den Mittagsstunden und schliesslich unten rechts gibt rastende Rotkehlchen am späten Nachmittage an.

Die Barometerkurve ist dem vorliegenden Zwecke entsprechend in einfachster Weise auf Grund des morgens 8 Uhr in Stralsund beobachteten Barometerstandes entworfen, die Schwankungen im Laufe des Tages sind also völlig unberücksichtigt geblieben. Die Höhe eines Quadratfeldes entspricht je 5 mm Druckdifferenz. Die Angaben über Wetterlagen sind fast ausschliesslich der Wetterkarte der Hamburger Seewarte für Morgens 8 Uhr entnommen, gelegentlich sind die Wetterkarten für 2 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends zur Benutzung herangezogen. Die Wetterlagen geben die jeweiligen Hochdruckgebiete mit mehr als 760 mm Druck, die Tiefdruckgebiete mit 750—720 mm Druck und endlich unter dem = Zeichen Wetterlagen an, wo parallele Isobaren und dadurch ein ein- oder doppelseitiges Gefälle mit gleichgerichteten, nicht wirbelnden Winden vorwalteten oder ein gleichmässiger, mittlerer Luftdruck über Europa lagerte. Hinsichtlich der Lage der Druckgebiete sind folgende Abkürzungen benutzt:

N, O, S, W = Abkürzungen für die Himmelsrichtungen.

A = Ärmelkanal
At = Atlantik
Bi = Biskayischer Meerbusen
Bo = Bottnischer Meerbusen
C.-Ep. = Zentral-Europa
D = Deutschland
Dä = Dänemark
E = England
Ep = Europa
Fi = Finnland
Fr = Frankreich
H = Helgoland
K = Kattegat
Ir = Irland
Lo = Lofoten
Lp = Lappland
M = Meklenburg
N = Nordsee
Nw = Norwegen
O = Ostsee
P = Pommern
Pr = Preussen
R = Russland
Ri = Rigaer Bucht
Sch = Schweden
Scho = Schottland
Sk = Skagerak
Sp = Spanien.

Die Windverhältnisse sind nach der Richtung und Stärke morgens 8 Uhr in der Weise zur Anschauung gebracht, dass einfache Pfeile mit dem Winde fliegend nur die acht Hauptrichtungen N, O, S, W — NO, SO, SW und NW berücksichtigen; eine besondere Kurve gibt dagegen die Windstärken an. Auffallende Änderungen in Richtung und Stärke des Windes während der Tagesstunden sind des öfteren in Berücksichtigung gezogen. Von den verschiedenen Windstärken sind nur fünf Bestimmungen der Windskala in Betracht gekommen: Windstille = untere Grenzlinie des Jahresstreifens, schwache Winde = 1 Quadratfeld Höhe, starke Winde 2 Felder, stürmische Winde 3 Felder und voller Sturm endlich 4 Felder Höhe.

## Wanderkarten über den Rotkehlchendurchzug Herbst 1899—1901.

Abkürzungen und Erklärungen im voraufgehenden Text.

---

Ein Uberblick über die Wanderkarten, wie sie in Fig. 1 der beigefügten Abbildungen zur Anschauung gebracht sind, lässt sofort erkennen, dass die Rotkehlchen-Wanderungen weder aus den lokalen Luftdruckverhältnissen, noch aus Richtung und Stärke des Windes eindeutig zu erklären sind und dass diese Vogelart in den letzten Tagen des Septembers in Bewegung gerät und dass die Wanderungen gelegentlich bis an, ja selbst über die Jahreswende hinausreichen. Der Herbstzug 1899 war am 27. Dezember desselben Jahres beendet, der des zweiten Herbstes am 5. Januar 1901 und der des dritten Herbstes gar erst am 16. Januar 1902, an welchem Tage sich vor- und nachmittags vereinzelte Rotkehlchen und Heckenbraunellen nach schwerem Weststurm einstellten. Vorwiegend stürmische Herbstwitterung, welche bis an Winters-Anfang heranreicht, verlängert die herbstliche Durchzugsperiode, eine Tatsache, die auch aus den Beobachtungen an deutschen Leuchttürmen 1888—1890, bearbeitet von R. Blasius, für Herbst 1890 hervorgeht. In den vorliegenden Beobachtungen hatte Herbst 1899 25 Tage mit stürmischen Winden, Herbst 1900 deren 27 Tage und Herbst 1901 zwar nur 18 Tage, welche wie die nachfolgende Zusammenstellung zeigt, hauptsächlich auf November und Dezember entfallen.

| | September | Oktober | November | Dezember |
|---|---|---|---|---|
| 1899 | 2 | 7 | 14 | 2 |
| 1900 | 3 | 11 | 5 | 8 |
| 1901 | 0 | 3 | 8 | 7 |

Der Herbstzug füllt die drei Monate Oktober, November, Dezember vollkommen aus und greift noch auf die letzte Septemberwoche und die ersten Januarwochen hinüber. Über diesen Zeitpunkt hinaus verweilen nur ganz vereinzelt Rotkehlchen bei Schnee und Eislage in der Umgebung

Stralsunds und diese Exemplare tragen alsdann einen ganz anderen sesshaften Charakter zur Schau, indem sie bei der Überwinterung ganz bestimmte Örtlichkeiten andauernd inne halten, sodass man ein überwinterndes Rotkehlchen zu bestimmten Tagesstunden auch mit grösster Wahrscheinlichkeit in der Nähe seines Winterstandquartieres antreffen kann. Zudem sind diese Vögel noch weniger scheu wie Herbstvögel und sind ganz besonders zu jenen Personen zutraulich, welche im Bereiche ihres Winter-Aufenthaltes dauernd beschäftigt sind, nähern sich anhaltend bis auf wenige Schritt Entfernung, sehen den Hantierungen der Menschen aus grösster Nähe zu und untersuchen oft neugierig jede Veränderung durch Menschen Hand: hier die ausgeschütteten Küchenabfälle einer Haushaltung, dort die zubereitete Mistbeeterde des Gärtners oder den aus dürrem Astholz aufgestapelten Reisighaufen und das daraus durch Säge und Beil gewonnene Brennholz eines Arbeiters. Überall folgt es den Veränderungen mit Aufmerksamkeit, welche menschliche Tätigkeit in Hof und Garten hervorruft, zutraulich und sorglos um das eigene Leben, um die überaus spärlich und knapp zugemessenen Winterfutterstoffe nach Möglichkeit zu mehren und zu bessern. Die überwinternden Rotkehlchen sind sicher keine Vögel deutscher Herkunft, sie stellen biologisch eine besondere Varietät dar mit anderem, eigenartigem Verhalten dem Menschen gegenüber und unterstützen die Ansichten namhafter Systematiker (vgl. Naumann, Bd. I S. 23 u. ff.) über Farben- und geographische Varietäten dieser Vogelart. Hier dürfte es sich um eine örtliche Varietät aus hochnordischen Gegenden handeln, sei sie skandinavischer oder nordrussischer Herkunft, eine Erscheinung, wie sie bei dem Buchfinken, dem Dompfaffen, der Amsel und anderen Vogelarten allgemein bekannt ist.[1])

[1]) Naumann Naturgeschichte der Vögel Mitteleuropas Bd. I Seite 25 hält diese [wie fast alle nordischen Vögel wenig scheuen], Rotkehlchen für ehemalige Stubenvögel, welche schliesslich unter den Unbilden des Winters zugrunde gehen sollen. Überall überwintern Rotkehlchen, in Schleswig-Holstein sogar in beträchtlicher Zahl, es ist nicht möglich, dass alle diese Wintervögel ehedem in den Käfigen der Vogelliebhaber gefangen gehalten wurden. Auch habe ich diese Rotkehlchen im Winter nicht eingehen sehen, sobald ein milderer Wintertag einfällt, setzen die meisten ihre Wanderung fort, es sind eben die letzten Durchzügler aus jenen arktischen Grenzbezirken, welche das Brutgebiet des Rotkehlchens abschliessen. Dagegen hält Liebe „Ornithologische Schriften“ (Seite 400) die überwinternden Rotkehlchen für alte Vögel, welche nicht mehr wandern, und von denen manche durch Ungunst des Winters eingehen.

Eine so lange Dauer der Herbstwanderungen erregt sofort Bedenken, dass diese weder im Sinne der Zugstrassen-Theorie von Palmén, wonach die Rotkehlchen zu der Kategorie der Landzugvögel gerechnet werden, noch nach der Auffassung von Gätke, den Meridianen Nord-Süd, oder den Breitengraden Ost-West nach, hoch in den Lüften eilend vorüberfliegend, vor sich gehen können, denn die zahlreichen Tage, an denen Rotkehlchen bis zu Winters Anfang bald in grösserer, bald in geringer Zahl bei uns Rast machen, verlangen die Annahme einer langsam über den europäischen Kontinent sich fortschiebenden Wanderung oder lassen gar der Vermutung Raum, dass die Rotkehlchen allmählich vor den ungünstigen Einflüssen des Herbst- und Winterklimas in Nord- und Ost-Europa zurückweichen, andere, ihnen zusagende Ländergebiete grossen Umfanges weiträumig besiedeln und zigeunerartig durchstreifen, bis auch hier Witterung und Nahrungsmangel einen weiteren Rückschub nach Süden oder Westen gebieterisch fordern und dass sie sich unter dem Einfluss meteorologischer Faktoren in den längere Zeit besiedelten Übergangsgebieten bald hier, bald dorthin verfliegen können. Eine solche Annahme findet weitere Unterstützung in dem Umstande, dass die Mengenverhältnisse der hier rastenden Rotkehlchen drei Wander-Perioden von längerer Dauer und untereinander nach der Zahl der auftretenden Vögel deutlich abgestuft, erkennen lassen. Eine Anfangsperiode von etwa 20 Tagen Dauer, ausgezeichnet durch das Auftreten vieler und selbst zahlreicher Vögel, so vom 12.—29. Oktober 1809, vom 30. September bis 19. Oktober 1900 und vom 25. September bis 11. Oktober 1901. Die zweite Wanderperiode zeitigt nur einen mässigen Vogelbestand, nur an wenigen Tagen finden sich Rotkehlchen in allgemeiner Ausbreitung, niemals mehr treten sie häufig oder gar in auffallend starker Kopfzahl auf, sie reicht bis in den Dezember hinein und geht in eine Schlussperiode über, in der mit seltenen Ausnahmen die Rotkehlchen nur noch vereinzelt oder in wenigen Exemplaren vorkommen. Eine solche periodisch erfolgende Abstufung in der Zahl der Rast machenden Vögel und die verhältnismässig lange Dauer jeder dieser drei Wanderperioden ist nicht einseitig aus einer gleichmässigen, von Norden oder Osten her erfolgenden Zuwanderung zu erklären. Wie das Rotkehlchen müssen auch viele andere Vogelarten zur Zugzeit periodisch über weite Ländergebiete umherstreifen, die Schilderungen Gätkes und

anderer Beobachter müssten uns andererseits einen schier unermesslichen, ins Fabelhafte aufsteigenden Vogelreichtum und grosse, normale Wanderungen selbst zur Winterszeit aufdrängen.

Ein Vergleich der drei Jahresaufzeichnungen lässt zudem für die erste Wanderperiode eine allmähliche Verstärkung der Kopfzahl erkennen, sodass offenbar zu dem ursprünglichen Bestande zu Beginn dieser Periode nach und nach andere Vögel zuwanderten und der sich so mehrende Durchzugsbestand tagelang von einem Landesstrich zu anderen entlegenen Gegenden und das unter recht verschiedenen Windverhältnissen, umherstreichen konnte, bis schliesslich diese Erscheinung fast plötzlich unter den Nachwirkungen einer herbstlichen Wetterkatastrophe, eines ausgeprägten Wirbelsturmes abbricht, um einem Zeitraume zu weichen, an dem Rotkehlchen so gut wie gar nicht beobachtet werden. Während diese Hauptwanderperiode in dem oben geschilderten Charakter unverkennbar hervortritt, sind die beiden nachfolgenden weniger deutlich in ihren Zeitverhältnissen abgegrenzt, namentlich bot der Herbst 1901 das Bild einer andauernden, wenn auch nur schwachen Wanderung dar, beeinflusst von der überaus stürmischen Witterung im November und Dezember. Eine wesentliche Unterstützung der Annahme, dass die Rotkehlchen auf ihrer Herbstwanderung sich längere Zeit in mitteleuropäischen Ländern aufhalten und nicht sofort über uns hin zu der endgültigen Winterherberge ziehen, liegt in der auffallenden Tatsache, dass man im November, Dezember und selbst an den wenigen Rasttagen, die noch in den Januar hinein fallen, die spärlich Einkehr haltenden Rotkehlchen gar nicht selten an den früheren, im zeitigen Herbst mit Vorliebe besuchten Lieblingsplätzen antrifft, wo weder Beerenvorrat, noch irgend ein anderer bereit stehender Nahrungsstoff diese Anziehung hervorrufen kann und dass lässt sich selbst nach längeren Pausen immer wieder erkennen.

Der Gesamtzeitraum von Ende September bis Anfang Januar, der von der Herbstwanderung des Rotkehlchens in Anspruch genommen wird, zeigt, wie ein Vergleich der drei Jahreskarten erkennen lässt, mehrfach längere Perioden, wo die Rotkehlchen überhaupt nicht rasteten und deshalb nicht zur Beobachtung gelangen konnten. Diese Zwischenräume erstrecken sich über fünf bis zehn Tage, ja im Herbst 1900, wenn man von den schwachen Rasterscheinungen am 10. und 16. November absieht, sogar über

einen Zeitraum von 33 Tagen, vom 20. Oktober bis zum 22. November. Das in den Wanderkarten niedergelegte Beobachtungsmaterial lässt sich einerseits übersichtlich nach der am Beobachtungstage herrschenden Windrichtung und nach der relativen Anzahl der rastsuchenden Rotkehlchen gruppieren und führt in dieser Zusammenstellung zu einigen interessanten Ergebnissen:

| Rastende Vögel | N | NO | O | SO | S | SW | W | NW | Zahl der Tage |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sehr viele . . . . . | 1 | — | — | — | — | — | 2 | 1 | 4 |
| zahlreich . . . . . | 1 | — | — | — | 1 | — | 3 | 2 | 6 |
| ausgebreitet . . . . | — | — | — | 3 | 3 | 3 | 6 | 2 | 17 |
| wenige . . . . . | 1 | 2 | 1 | 7 | 5 | 8 | 5 | 7 | 36 |
| vereinzelt . . . . . | 4 | 7 | — | 6 | 5 | 18 | 1 | 10 | 51 |
| Zahl der Rasttage . . | 7 | 9 | 1 | 16 | 14 | 29 | 17 | 21 | 114 |
| Prozentsatz . . . . | 41% | 43% | 20% | 35% | 44% | 43% | 41% | 42% | 40% |
| frei von Wandervögeln . | 10 | 12 | 4 | 29 | 18 | 39 | 27 | 29 | 168 |
| Tage, im ganzen . . | 17 | 21 | 5 | 45 | 32 | 68 | 44 | 50 | 282 |

Im ganzen wurden in den Herbstmonaten der drei Beobachtungsjahre 1899, 1900 und 1901 282 Tage vom Beginn des eintretenden Durchzuges bis zum letzten Zugtage im Dezember für diese Zusammenstellung herangezogen, mit 114 Tagen, an denen rastende Rotkehlchen beobachtet wurden, was einem Prozentsatz von 40% entspricht. Man ersieht, dass zwar bei allen Windrichtungen Vögel rasten und darf deshalb offenbar nur annehmen, dass wandernde Rotkehlchen aus allen Windrichtungen über uns hinziehen, aber man ersieht auch, dass bei östlichen und südöstlichen Winden an der Küste Neuvorpommerns erheblich seltener Rotkehlchen beobachtet wurden, nämlich nur einmal in 5 Tagen mit Ostwind = 20% und nur 16 mal unter 45 Tagen mit Südostwind = 35%, während bei allen übrigen Windrichtungen die Zuwanderung eine auffallend gleichmässige war und nur zwischen 41—44% aller Tage mit der entsprechenden Windrichtung schwankte, und die Vermutung nahe liegt, dass die Rotkehlchen bei Ost- und Südostwinden häufiger über den Küstenbezirk Neuvorpommerns wandernd vorüberziehen oder weniger oft bei diesen Windrichtungen veranlasst werden, Rast zu machen. Dagegen tritt die Tatsache auffallend hervor, dass alle Rast-

erscheinungen, welche zeitlich sehr viele Rotkehlchen in das Beobachtungsgebiet führten, nur bei westlichen, nordwestlichen und nördlichen Winden eintreten; ein gleiches gilt für die Tage mit zahlreichen Wandervögeln, wo allerdings einmal Südwind herrschte (5. November 1899, der auch anderweitig eine Ausnahmestellung einnimmt) und für die Rasttage, wo ein ausgebreiteter Bestand an Erithacus rubeculus wahrgenommen werden konnte, hier aber auch bei Südost- und bei Südwinden. Da die schwächeren Zuwanderungen sich bei Winden aus allen Richtungen der Windrose ereigneten, müssen die stärkeren Rasterscheinunungen unzweifelhaft mit jenen meteorologischen Ursachen in Zusammenhang stehen, welche an der Küste Neuvorpommerns westliche bis nördliche Winde hervorrufen.

Auch die etwaigen Beziehungen der Windstärken zu den Rasterscheinuugen müssen der Vollständigkeit halber in Betracht gezogen werden, da man im Voraus gern geneigt ist, schwere Wetterkatastrophen, Sturm, starke Niederschläge und Schneefall als wirksame Ursachen anzusprechen, welche allgemein wandernde Vögel auf ihrem Herbstzuge oder nordische Wintergäste in der kalten Jahreszeit bei uns zur Hemmung ihres Wanderfluges veranlasst. Das in der Wanderkarte niedergelegte Beobachtungsmaterial führt hinsichtlich der Windstärken zu folgender Übersicht:

| Rastende Rotkehlchen | Voller Sturm | Stürmische Winde | Starke Winde | Schwache Winde | Windstille | Rasttage |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sehr viele . . . . | 1 | — | 1 | — | 2 | 4 |
| zahlreich . . . . . | — | 1 | 1 | 3 | 1 | 6 |
| ausgebreitet . . . . | 2 | 1 | 4 | 9 | 1 | 17 |
| wenige . . . . . | 2 | 3 | 8 | 18 | 5 | 36 |
| vereinzelt . . . . . | 3 | 3 | 7 | 20 | 18 | 51 |
| im ganzen, Tage mit: . | 8 | 8 | 21 | 50 | 27 | 114 |
| Prozentsatz zu allen Tagen mit: . . . | 31% | 19% | 33% | 40% | 73% | — |

Mehr als die Hälfte aller Fälle, in denen während der drei Herbstwanderungen rastende Rotkehlchen in Stralsund beobachtet wurden, entfallen demnach grade auf Tage mit schwacher Luftbewegung, im übrigen verteilen sie sich auf alle Windstärken, von der Windstille bis zum vollen Sturm. Auch jene Tage, wo der Wanderflug ganz besonders stark gehemmt wurde

und einen reichen Bestand an Zugvögeln in das Beobachtungsgebiet führte, zeigen das gleiche Verhalten, sodass der Grad der Luftbewegung nirgends als eine einschlägige Ursache für die Unterbrechung des Herbstzuges angesehen werden kann. Allerdings kommen von den Erscheinungen, wo rastende Rotkehlchen in grosser Zahl bei schwachen Winden oder bei Windstille in der Nähe Stralsunds auftraten, am 11. und 14. Oktober 1900, auf Stunden kurzer, vorübergehender Wetterruhe, während vor und nach der Beobachtung starke bis stürmische Winde als Austrag eines vorüberziehenden Zyklons wehten. Nur die Tage mit schwachen Winden und solche, an denen Windstille vorherrschte, machen insofern eine Ausnahme von der gleichmässigen Hemmung des Herbstzuges, als an ihnen rastende Rotkehlchen zwar sehr häufig, aber nur in vereinzelten Exemplaren angetroffen wurden. Ruhige Witterung veranlasst die Rotkehlchen offenbar sich über weite Bezirke vereinzelt zu zerstreuen, durch wirbelnde Luftströmungen werden sie dagegen auf enge Gebiete zusammengeschart. Mit der Abnahme der Windstärke vollzieht sich eine Vermehrung der Tage mit rastenden Rotkehlchen, denn 8 mal, also zu 19% unter 41 Tagen mit stürmischen Winden traten Rotkehlchen auf, während sich die Frequenz bei starken Winden auf 33%, bei schwachen Winden auf 40% und bei Windstille auf 73% steigerte. Von dieser stufenmässigen Steigerung machen die Tage mit vollem Sturm eine Ausnahme, an 31% aller ausgeprägten Sturmtage wurden rastende Rotkehlchen beobachtet. Rechnet man jene beiden Tage, 11. und 14. Oktober 1900, wo Wirbelstürme die Ostsee beherrschten und die Rotkehlchen während der Ruhepause, die durch das Vorüberziehen des Minimums bedingt wurde, bei Stralsund erschienen, hinzu, so steigt der Prozentsatz sogar auf 38% aller Sturmtage. Aus der statistischen Zusammenstellung darf man deshalb einen zweifachen Schluss ziehen: erstens, ausgeprägte Sturmerscheinungen führen häufig zu Rasterscheinungen wandernder Rotkehlchen und zweitens, mit der Abnahme der Windstärke vermehren sich die Rasttage, die Rotkehlchen breiten sich über weite Landgebiete aus und zerstreuen sich vereinzelt hier und dorthin, sodass die Wanderungen und die Rasterscheinungen offenbar in erster Linien von meteorologischen Ursachen, und nicht von dem etwaigen Vorhandensein bestimmt vorgezeichneter Wanderstrassen abhängig sind.

Die Übersicht in den Wanderkarten führt ausserdem noch zu einem anderen Gesichtspunkt, der für die weitere Untersuchung der meteorologischen Ursachen, welche den Herbstzug hemmen und zu auffallenden Rasterscheinungen führen, von einschneidender Bedeutung ist. Von den 10 Tagen, welche viele Rotkehlchen in der Nähe Stralsunds erscheinen liessen, zeigte die Mehrzahl der Tage, 28. Oktober 1899, der 8., 11., 12. und 14. Oktober 1900 und der 7. und 8. Oktober 1901 westliche Winde, welche abflauend und rechtsdrehend waren und deshalb auf das Vorhandensein einer barometrischen Depression, eines ausgeprägten Cyklonengebietes in nördlicher bis östlicher Richtung liegend und sich auf seiner Bahn von Stralsund entfernend, hinweisen. Der Herbst 1901 war sehr reich an stürmischer Witterung und bot deshalb mehrfach Untersuchungsmaterial für die Entscheidung der Frage, in welchen Wechselbeziehungen die unterbrochenen Wanderungen, die Rasterscheinungen der Rotkehlchen, zu den verschiedenartigen Wirbelstürmen stehen; besonderes Interesse boten die Sturmperioden vom 5.—10. Oktober, am 29. Oktober und vom 12.—16. November 1901, welche deshalb zu näherer Betrachtung herangezogen werden sollen. Weiterhin mögen charakteristische Wetterlagen, welche sich durch mittleren Barometerstand von 760 mm und andauernd ruhige Witterung auszeichneten und jene Erscheinungen, welche sich beim Auftreten ausgedehnter Hochdruckgebiete und der abgerundeten Anticyklonen, die den sogenannten Strahlungstypus in der Wetterkunde bedingen, zur Untersuchung der biologischen Ursachen gehemmter Herbstwanderungen angezogen werden.

## Der Einfluss der Wetterlagen auf die Herbstwanderung.

### A. Tiefdruckgebiete und Wirbelstürme.

(Hierzu Tab. XX Fig. 2—6.)

In jedem Herbst wird das Ostsee-Becken von einer grösseren Zahl schwerer Wirbelstürme heimgesucht, welche durch das Auftreten kleinerer, meist zur Kreis- oder Ellipsenform gerundeter, barometrischer Depressionen hervorgerufen werden, die sich in der Regel aus grossen barometrischen Tiefdruckgebieten über dem nördlichen atlantischen Ozean ablösen und den europäischen Kontinent hauptsächlich an der norwegischen Küste, im Gebiete der Nordsee oder in der Gegend des Kanals erreichen, um alsdann ostwärts fortschreitend, grosse Strecken unseres Kontinents zu durchwandern und im weitem Umkreise einen Luftwirbel mit schweren Sturmwinden über den Ländern Mittel- und Nord-Europas hervorzurufen. Jene barometrischen Depressionen üben einen unverkennbaren Einfluss auf die Rotkehlchen-Wanderung aus, wie die nähere Untersuchung der Wirbelstürme vom 5.—10. Oktober 1901 erkennen lässt.

Eine ruhige Wetterlage mit warmen, sonnigen Tagen und schwachen südlichen Winden hatte bei einem Barometerstande von 760—770 mm am 25. September 1901 die Herbstwanderung des Rotkehlchens zunächst schwach, dann vom 2. Oktober an in verstärktem Masse eintreten lassen, als sie plötzlich am 5. Oktober bei jäh fallendem Barometerstande, beim Auftreten eines kleinen barometrischen Minimums in Mitteldeutschland und bei der Annäherung eines umfangreichen Gebietes niedrigen Luftdruckes, welches die nördliche Nordsee und das norwegische Meer überdeckte, zum Stillstand gelangte. Während sich dieses barometrische Tiefdruckgebiet langsam in östlicher Richtung fortbewegte und am 10. Oktober selbst den Nordteil

Skandinaviens erreichte, sandte es nacheinander vier Teildepressionen in südöstlicher Richtung fortschreitend, nach Zentral-Europa hinein. (Vergl. Tab. XX Fig. 2.) Die erste lag am 6. Oktober über der südlichen Nordsee, und zog in der folgenden Nacht über Berlin fort, die zweite zeigte sich am 7. Oktober Morgens über der westlichen Ostsee, sodass Stralsund selbst bei 730 mm Luftdruck davon berührt wurde, die dritte lag am 8. Oktober über Mittelschweden, teilte ein kleines Gebiet niedrigsten Luftdruckes am 9. Oktober über der westdänischen Küste ab, welches am folgenden Tage bereits über Posen lag. Ein viertes barometrisches Minimum überlagerte endlich am 9. Oktober Morgens Nord-Skandinavien. Unter dem Einfluss der ersten Teilpression wurden die südöstlichen und südlichen Winde, welche bei geringer Stärke wochenlang angehalten und schönes, warmes Wetter andauernd gezeitigt hatten, aufgehoben und es traten am 6. Oktober in Stralsund steife bis stürmische südwestliche Winde ein, während die seit dem 25. September sich bei Stralsund aufhaltenden Rotkehlchen völlig verschwanden. Als am Nachmittag bei stark fallendem Barometer sich das Zentrum des Zyklonengebietes näherte, flaute der Wind ab, ergiebiger Regenfall mit 14,5 mm Niederschlagshöhe stellte sich ein und hier und da tauchten, aber erst am Abend, wieder wandernde Rotkehlchen auf.

Die zweite Teildepression, welche am 7. Oktober Morgens die westliche Ostsee beherrschte, rief bereits in der Nacht vom 6. zum 7. Oktober stürmische Winde und am folgenden Tage heftigen Sturm aus nördlicher Richtung hervor. Bis Nachmittags 3 Uhr hörte man weder Rotkehlchen locken, noch konnte man im Gesträuch der Anlagen und in den Heckenpflanzungen der Gärten Rotkehlchen beobachten. Nach diesem Zeitpunkt nahm die Zahl ständig zu, sodass am späten Abend, bei tiefer Dämmerung diese Edelsänger wie ausgestreut überall wahrzunehmen waren, im Strauchdickicht hörte man sie unaufhörlich locken und unruhig hin und herziehen, in den Gärten huschten sie, bis das Abenddunkel die Beobachtung unmöglich machte, hurtig über den Erdboden, eifrig Futter suchend. Noch niemals habe ich in einem Zeitraum von mehr als zehn Jahren, während dessen ich dem Wanderleben dieser Vogelart mein besonderes Interesse zugewandt habe, eine solche Massenausschüttung von Rotkehlchen beobachtet, wie am Abend des 7. Oktober 1901. Ihre auffallende Unruhe und ihre bis

in die Dunkelheit eifrigst fortgesetzte Futtersuche bewiesen, dass sie am Tage keine Rast und keine Nahrungsaufnahme halten konnten, sie waren offenbar von den das Zentrum des Zyklonengebietes umtosenden Wirbelstürmen erfasst, über das Ostseebecken an die pommersche Küste geworfen. Vom Sturmwind fortgerissen, waren sie in immer wachsender Kopfzahl durch den zentripetalen Verlauf der Windbahnen in die Nähe des Zentrums getrieben, wo wegen des Aufwärtsströmens der allseitig herbeigewirbelten Luftmassen schwache und umgehende Winde herrschten. Hier aber bot die See ihnen weder Raststation noch Nahrung und erst am Abend konnten sie, nachdem dieser Luftwirbel zum Ausgleich gekommen und ruhigeres Wetter eingetreten war, an der pommerschen Küste landen. (Vergl. Tab. XX, Fig. 3.) Diese Auffassung erhält eine wirksame Unterstützung durch das gleichzeitige abnorme Verhalten von Turdus musicus. Scharen von 50—100 Stück und mehr traten in verhältnismässig dichtem Wanderverbande am Abend des 7. Oktober auf Rügen und in Neuvorpommern und selbst in der nächsten Umgebung der Stadt Stralsund auf, dicht über dem Erdboden hinstreichend und in kurzen Zwischenräumen Schar auf Schar sich folgend. Ihr geschlossenes Zusammenhalten erinnerte an die Herbst- und Frühjahrszüge von Turdus pilaris und an die Wandergesellschaften von Turdus iliacus im Winter und in manchem Frühling. Dieser Tag brachte den Jagdberechtigten in den Dohnenstiegen eine ausserordentlich grosse Ausbeute an gefangenen Singdrosseln. In einem königlichen Forstbezirk südlich von Stralsund wurden am 8. Oktober Morgens 102 Singdrosseln ausgelöst, der Tagesfang betrug dort sonst an guten Tagen etwa 15 Stück, in einem zweiten gräflichen Revier westlich von Stralsund wurden 53 Singdrosseln gefangen, während sonst in günstigen Fällen ein Dutzend Vögel dort erbeutet wurden und in einem sehr kleinen Feldgehölz in der Umgegend von Bergen a. R. wurden allein 26 Singdrosseln in den Dohnen vorgefunden. Der niedrige gesellschaftliche Wanderflug liess ausserdem im Bereiche der Rügenbahn manche Singdrossel durch Anflug an den Telegraphendraht verenden, wiederholt wurden mehrere zusammen auf engem Raum in der Nähe des Bahndammes aufgefunden.

Währenddessen hatte ein drittes Zyklonengebiet mit 725 mm Depression die skandinavische Küste erreicht und zog südostwärts über Mittel-

schweden, sodass es am folgenden Morgen, am 8. Oktober an der Ostseeküste bei Stockholm ruhte. In Stralsund war an diesem Morgen trotz der überaus zahlreichen Rotkehlchen des Vorabends ein nur schwacher Bestand an Wandervögeln zu beobachten. Obgleich ein neuer Wirbelsturm die Länder um die Ostsee heimsuchte, konnten doch bei Stralsund, nachdem der Vogelreichtum des 7. Oktober wieder verschwunden war, an diesem Morgen gelegentlich Rotkehlchen herabsteigen und Rast machen, weil an diesem Teile der Ostseeküste abflauende westliche Winde herrschten. (Vergl. Tab. XX Fig. 4.) Als jedoch im Laufe des 8. Oktober jenes dritte Minimum südostwärts fortschreitend, die mittlere Ostsee erreichte, setzte in den ersten Nachmittagsstunden eine Zuwanderung zahlreicher Rotkehlchen ein, welche bis an den Abend anhielt.

Während dieses dritte barometrische Minimum noch über der mittleren Ostsee zum Ausgleich gelangte, schnürte sich im Südwesten dieses Zyklonengebietes ein neuer, wenig umfangreicher Luftwirbel mit 735 mm Depression ab, welcher am Morgen des 9. Oktober das Meer zwischen der norwegischen und dänischen Küste überdeckte und am 10. Oktober Morgens bereits bis Posen vorgeschritten war. Diese Depression im Nordwesten Dänemarks hielt den barometrischen Tiefstand von 740 mm auch noch am 9. Oktober bei Stralsund aufrecht und verursachte dort steife südöstliche Winde. An diesem Tage waren nur wenige Rotkehlchen zu bemerken und als am nächsten Tage das über die norddeutsche Tiefebene nach Posen fortgewanderte Niederdruckgebiet nördliche, abflauende Winde in Stralsund hervorrief, waren Rotkehlchen auch noch vereinzelt anzutreffen. Am folgenden Tage, den 11. Oktober 1901, gab es Morgens und Abends eine kleine Zunahme an Erythacus rubeculus, ohne dass sie irgendwo in auffallender Anhäufung zu beobachten waren, und dann setzte vom 12.—22. Oktober eine elftägige Periode bei ziemlich gleichmässigen Luftdruck über Europa, ohne ausgeprägte barometrische Minima oder Maxima ein, in der für Stralsund die Rotkehlchen so gut wie verschwunden waren.

Ähnliche, allerdings wesentlich abgeschwächte Wanderungen wie bei jenen Luftwirbeln, deren Bahn die westliche Ostsee durchquerten, rief auch die am 29. Oktober 1901 eintretende Wetterlage hervor, (vergl. Tab. XX, Fig. 5) welche durch eine barometrische Depression von 740 mm verursacht

wurde, die über Nordschweden am frühen Morgen lagerte, während gleichzeitig zwei Hochdruckgebiete von 765 mm über Schottland und über Zentral-Europa auftraten. Das letztere verstärkt, wie aus dem Abschnitt über die Antizyklonen Zentral-Europas hervorgehen wird, die Rasterscheinungen der Rotkehlchen an der Ostseeküste. Das schottische Hochdruckgebiet rief im Verein mit der Depression über der nordwestlichen Ostsee, Nordweststurm an den norwegischen Küsten und Wirbelwinde über Skagerak und Kattegat, das mitteleuropäische Hochdruckgebiet dagegen südwestliche, starke bis stürmische Winde an der deutschen Ostseeküste hervor. Vormittags waren an allen geeigneten Örtlichkeiten Rotkehlchen vorhanden, deren Zahl langsam im Laufe des Tages abnahm, sodass am späten Nachmittage alle rastenden Vögel verschwunden waren, während am frühen Morgen des 30. Oktober 1901, bei ähnlicher Wetterlage, Tiefdruckgebiet von 760 mm über Finnland, Hochdruckgebiet von 775 mm über Schottland bis Norwegen, nochmals dieselbe Rasterscheinung bei nördlichen Winden eintrat, allerdings schwächer nach der Kopfzahl. Unter dem Einfluss des schottischen, nach Norwegen sich ausbreitenden Hochdruckgebietes waren westliche Winde rechtsdrehend in nördliche übergegangen, eine Erscheinung ähnlich wie bei den die westliche und mittlere Ostsee durchquerenden Zyklonen und hatten die zweite Rast der Rotkehlchen, am 30. Oktober 1901 morgens hervorgerufen.

Die Wiederkehr der vorhin geschilderten Verteilung des Luftdruckes über Europa (29. Oktober 1901), das Erscheinen einer barometrischen Depression über den nördlichen Teil der Ostsee und den angrenzenden Ländergebieten von Nordschweden und Finnland, während ein Hochdruckgebiet in Westeuropa, von Schottland herab bis nach der westfranzösischen Küste auftrat und an der westlichen Ostsee wirbelnde Winde aus westlicher Richtung hervorrief, verursachte noch an verschiedenen Herbsttagen des Jahres 1901 vorübergehende Rasterscheinungen wandernder Rotkehlchen, so am 27.—28. November 1901 mit einem barometrischen Minimum von 745 mm über Nordschweden und Finnland und einem Hochdruckgebiet von 775 mm über Irland, am 3. Dezember 1901 mit einer Depression von 750 mm über dem Bottnischen Meerbusen und einem Hochdruck von 770 mm über Frankreich und am 12. Dezember 1901, Finnland 745 mm, Südfrankreich 760 mm Luftdruck.

Einen ganz anderen Einfluss, wie die in dem vorigen Abschnitt geschilderten Wetterlagen mit ausgeprägten Wirbelstürmen oder halbseitigen Luftwirbeln und mit Depressionszentren, deren Bahn die westliche, oder mittlere oder nördliche Ostsee durchquerten, übten die Zyklone vom 12.—16. November 1901 aus, welche in fast östlicher Richtung über Irland, England, Nordsee und Ostsee vorüberzogen, ohne dass Rotkehlchen in auffallender Zahl an der Küste Neuvorpommerns wahrgenommen wurden. Die vorgerückte Jahreszeit konnte nicht als Ursache dieser Fehlerscheinung herangezogen werden, denn in früheren Jahren wurden stärkere Zuwanderungen im November wiederholt beobachtet, so am 5.—6., 11. und 25. November 1899, am 22.—24. und 28. November 1900.

Am Morgen des 12. November 1901 lag eine Depression I von 735 mm an der Südwestküste Irlands, welche am nächsten Morgen Südost-England, den Eingang zum Kanal und einen Teil der Nordsee erreicht hatte, sich dann über der Nordsee ausbreitete, um schliesslich über den Küstenbezirk Südschwedens in nordöstlicher Richtung fortwandernd, am 15. November die Ostsee der Länge nach zu überziehen. (Vergl. Tab. XX Fig. 6.) Als am 14. November die Depression nach Südschweden hinüberwanderte, frischten in Stralsund die südwestlichen Winde lebhaft auf und steigerten sich am Abend und in der Nacht zu schwerem Sturm, um am nächsten Morgen rechtsdrehend wieder abzuflauen. Zu diesem Zeitpunkt trat eine schwache Zunahme des unregelmässig auftretenden Rotkehlchen-Bestandes ein, also auch hier westliche Winde rechtsdrehend und abflauend, wie am 7. und 8. Oktober 1901, brachten die Rotkehlchen in leichte Wanderbewegung. Als nunmehr das neue Minimum II, welches sich auf der Nordsee am 15. November 1901 Morgens zeigte, ostwärts über die Ostsee hin fortwanderte, sodass es am 16. November die russischen Ostseeprovinzen erreichte und südwestliche Winde an der ganzen südlichen Ostseeküste hervorrief, trat eine weitere Zuwanderung an Rotkehlchen nicht mehr ein.

Es scheint demnach ein gewisser Unterschied in der Abhängigkeit der Rotkehlchen-Wanderungen von den herbstlichen Wirbelstürmen zu bestehen. Wenn die Bahnen der Wirbelsturm-Zentren die Ostsee durchqueren, wenn also das barometrische Minimum nördlich von Stralsund, von Dänemark, Südnorwegen oder Schweden aus in das Ostseebecken einfällt und

das Maximum in Westeuropa liegt, rasten Rotkehlchen in auffallender Zahl, wenn dagegen die Wirbelsturmbahn Nord- und Ostsee der Länge nach durchlaufen, wenn das Minimum in Westeuropa eintritt und das Maximum über Südeuropa liegt, erscheinen die Rotkehlchen gar nicht oder nur in geringer Zahl. Barometrische Minima der ersten Art rufen an der pommerschen Küste westliche Winde hervor, welche beim Fortschreiten der Depression rechtsdrehend auf Nordwest oder Nord übergehen und abflauen. Tritt diese Erscheinung ein, so kann man mit einiger Sicherheit rastende Rotkehlchen an der südlichen Ostseeküste erwarten. Im Herbst 1901 war dies an folgenden Tagen der Fall: 7. Oktober 1901, mittlere Ostsee 725 mm, Rotkehlchen sehr zahlreich; 8. Oktober 1901 mittlere Ostsee 720 mm, Rotkehlchen zahlreich; 29. Oktober 1901 nördliche Ostsee 750 mm, Rotkehlchen zahlreich; 11. November 1901 mittlere Ostsee 740 mm, Rotkehlchen vorhanden; 15. November 1901 dänische Küste 740 mm, Rotkehlchen vorhanden; 22. November 1901 nördliche Ostsee 740 mm, Rotkehlchen vorhanden; 3. Dezember 1901 Schweden 750 mm Rotkehlchen vorhanden und 21. Dezember 1901 Ostsee 750 mm, Rotkehlchen vorhanden.

## B. Gleichmässig abgestufter Luftdruck und mittlerer Barometerstand über der westlichen Ostsee.

(Hierzu Tab. XX Fig. 7—9.)

In den Tagen von 12.—21. Oktober 1901 folgte auf jene typischen Luftwirbel, welche das Ostseebecken durchquerten, eine Periode atmosphärischer Ruhe mit schwachen Winden, welche anfangs aus nordöstlicher, dann vorwiegend aus südöstlicher Richtung wehten und welche hinsichtlich des Rotkehlchen-Durchzuges im auffallenden Gegensatz zu den Sturmtagen vom 5.—10. Oktober 1901 stand. Der Herbstzug war völlig erloschen, nirgends waren trotz des günstigen Zeitpunktes, weder in Heckenpflanzungen, noch in Gärten und Niederungen mit reifen Hollunderbeeren Rotkehlchen anzutreffen. Während sich tagelang ein Tiefdruckgebiet, unter schwacher Änderung seines Umfanges, bald nach Süden herunter bis zu der irischen Küste, bald ostwärts über die Meeresgebiete nördlich von Schottland verschob, dehnte sich gleichzeitig im Verlaufe mehrerer Tage ein Hochdruckgebiet,

welches ursprünglich nur die Bucht von Haparanda berührte, langsam nach Süden aus (vgl. Tab. XX Fig. 7). Dabei zeigten beide Luftdruckgebiete, von kleineren Schwankungen abgesehen, den Charakter gleichmässigen Fallens. Am 14. Oktober stand einem Tiefdruck von 750 mm ein Hochdruck von 775 mm gegenüber und am 19. Oktober war das Verhältnis 740 und 765 mm. Infolge der ziemlich weiträumigen Trennung beider Druckgebiete und der nicht allzu grossen Druckdifferenz von 20—25 mm wehten über der südlichen Ostsee andauernd schwache Winde aus östlicher Richtung. In Stralsund selbst herrschte ein gleichmässiger Luftdruck von 760—764 mm, die Temperatur lag morgens um 8 Uhr zwischen 10 und 13° C. und der Himmel war an diesen Tagen schwach bewölkt bis bedeckt. Angesichts so günstiger Herbstwitterung und des reichlichen Vorrates an Beerenfrüchten und noch vollauf genügender Insektennahrung hätte man eher eine anhaltende Besiedelung aller geeigneten Örtlichkeiten mit Rotkehlchen erwarten können, als dass diese Vögel verschwanden und sich an allen diesen Tagen nirgends anschickten, Raststation zu nehmen. Die Ursache kann offenbar eine doppelte sein: entweder hört bei dieser Wetterlage jede Ortsveränderung, jede Wanderung auf, oder sie zeigt sich in dem Bestehen eines freiwilligen und ungestörten Wanderfluges, welcher sich während der Nachtzeit abspielt und wobei die wandernden Rotkehlchen, wie aus dem Abschnitt über die Hochdruckgebiete hervorgehen wird, über die Gebiete gleichmässigen, mittleren Luftdruckes hinweg sehr wahrscheinlich den bestehenden Hochdruckgebieten gegen den Wind zufliegen und in gewisser Entfernung vom Hochdruckzentrum rastend auftreten. Im vorliegenden Falle dürften die Rotkehlchen in den Tagen nach dem 12. Oktober 1901 trotz der herbstlichen Jahreszeit, der allgemein angenommenen Richtung der Herbstwanderung entgegen, aus westlichen Ländern, aus Deutschland, Dänemark und Süd-Schweden ostwärts nach dem mittleren Schweden und der russischen Ostseeküste gezogen sein. Denn man kann nicht annehmen, dass in diesem Zeitabschnitt von zehn Tagen, mitten in der günstigsten Jahreszeit für die Ausführung des Herbstzuges, die Rotkehlchen bereits ihre Wanderungen abgeschlossen und Nord- sowie Mittel-Europa verlassen hatten, dem widersprechen die späteren Beobachtungen im Oktober, November und Dezember desselben Jahres. Die Entscheidung über das Bestehen eines eigenartigen Wanderfluges, der selbst im Herbst

gelegentlich der Richtung West—Ost folgt, sowie über Fragen ähnlicher Art ist indessen nur durch ein über Nord- und Mittel-Europa eingerichtetes und einheitlich organisiertes Netz von ornithologischen Beobachtungsstationen zu lösen.

In der Zeit vom 22. Oktober 1901 bis zum 30. desselben Monats war in der Umgebung Stralsunds eine ziemlich lebhafte Rasterscheinung unter den wandernden Rotkehlchen zu bemerken, die indessen merkwürdigerweise an einzelnen Tagen vollkommen ausgelöscht wurde, sodass man an sonst von dem so zutraulichen und niedlichen Erdsänger gern besuchten Örtlichkeiten vergeblich nach ihm Umschau halten musste. Fälle eines derartigen, vollständigen Verschwindens ereigneten sich am 23., 25. und 28. Oktober 1901, wovon die Wetterlage des letztgenannten Tages besondere Berücksichtigung finden möge, welche, wie wir sehen werden, in ganz ähnlicher Verteilung noch mehrmals im Herbst 1901 wiederkehrte und fast immer ein Verlöschen der Rasterscheinungen wandernder Rotkehlchen herbeiführte. Die Isobaren hatten an diesem Tage eine ausgesprochene Ost-West-Richtung und liefen annähernd parallel (vgl. Tab. XX Fig. 8). Auch die Druckdifferenz war keine besonders grosse, über Süd-Europa 775 mm, über Nord-Skandinavien 740 mm, sodass das Luftmeer ohne alle Wirbelbewegung war und sich ein gleichmässiges Gefälle des Luftdruckes von Süd nach Nord geltend machte, wodurch über West- und Zentral-Europa schwache südwestliche Winde wehten, nur im mittleren Schweden herrschte etwas stärkere Luftbewegung. Nach den statistischen Aufzeichnungen in den Wanderkarten führen die Rotkehlchen ihre Wanderflüge mit Vorliebe zur Nachtzeit und gelegentlich auch während der Tagesstunden, um die Mittagszeit herum, aus. Gerne landen sie am frühen Morgen bald nach Sonnenaufgang und verweilen einige Stunden zur Rast und Nahrungsaufnahme. Gelegentlich sieht man sie an solchen Wandertagen um 10 oder 11 Uhr vormittags sich zur Weiterreise rüsten. Nach der Gewohnheit jener bei Vogelliebhabern hochgeschätzten Rotkehlchen-Männchen, der Wipfelsäuger, ersteigen sie nach und nach vom Erdboden aus die Wipfel höherer Bäume, indem sie zunächst von dem niedrigen Dickicht der Gesträuche auf die Spitzen der Hecken, auf einzelne grössere Sträucher oder auf Bäume auffliegen, von dort auf einen benachbarten Baum und diesen bald mit einem zweiten vertauschen,

um den mittleren Teil und schliesslich den Gipfel der Baumkrone zu erreichen, von wo aus fast ungesäumt die Weiterreise angetreten wird. Nichts von diesen Erscheinungen am 28. Oktober 1901. Wo waren die Rotkehlchen so plötzlich hin verschwunden? Noch am Tage vorher zeigten sie sich überall, wenn auch nur in geringerer Anzahl und am 29. Oktober, als morgens die Wetterlage völlig verändert war, als über dem mittleren Schweden und Finnland und daneben vor dem Eingang zum Kanal zwei Gebiete mit wirbelnden Winden die gleichmässige südwestliche Luftströmung vom 28. Oktober verdrängt hatten, traten sie an allen geeigneten Örtlichkeiten auf und belebten den ganzen Vormittag Gärten und Anlagen.

Man darf demnach für den 28. Oktober 1901 dieselbe Erklärung für die Abwesenheit der Rotkehlchen in Anspruch nehmen, wie für den 16. Oktober 1901: der gleichmässig von Süden nach Norden abnehmende Luftdruck und die über ganz West- und Mittel-Europa wehenden südwestlichen Winde liessen mit grösster Wahrscheinlichkeit an diesem Tage die Rotkehlchen gegen den Wind nach dem über Süd-Europa liegenden Hochdruckgebiet wandern und in Süd- und Mittel-Frankreich, in Süd-Deutschland, in Böhmen und Ungarn landen, ohne dass sie an der Ostseeküste an diesem Tage Anlass fanden, Rast zu machen. Hier vollzog sich jedenfalls in der Nacht vom 27. zum 28. Oktober 1901 und am 28. Oktober selbst ein von vielen Ornithologen als normal bezeichneter Wanderflug in höheren Luftschichten, von Nordost nach Südwest und gegen die meist nur schwachen südwestlichen Winde gerichtet.

Ähnliche Wetterlagen, allerdings nicht in so typischer Form, traten am 17. und 18. November 1901 und am 5.—7. Dezember 1901 auf und zeitigten dieselbe Erscheinung: nirgends rastende Rotkehlchen im Weichbilde unserer Stadt.

Der herbstliche Rotkehlchenzug hatte während der Zeit vom 22. bis 30. Oktober 1901 nicht nur am 28. Oktober, wie oben bereits erwähnt, sondern auch am 23. und 25. Oktober eine ebenso auffällige Unterbrechung erfahren, sodass an diesen beiden Tagen ebenfalls gar keine Rotkehlchen am Beobachtungsorte wahrgenommen wurden. Die Wetterlage dieser Tage war durch eine sehr gleichmässige Verteilung des Luftdruckes über Europa ausgezeichnet, sodass die Differenz zwischen höchster und niedrigster Isobare nur 10 mm betrug und nur schwache, aus veränderlicher Richtung

wehende Winde auftraten (vgl. Tab. XX Fig. 9). Vom atlantischen Ozean her lag über Schottland, Nordsee, Norwegen, Süd-Schweden und einem grossen Teile Deutschlands ein ausgedehntes Gebiet mittleren Luftdruckes von 760 mm, eine Übereinstimmung mit den beiden vorhin erläuterten Fällen gleichmässiger Druckverteilung, vom 16. Oktober 1901 mit der Nord-Süd laufenden 760 mm Isobare, welche durch Neuvorpommern ging und vom 28. Oktober 1901 mit der West-Ost verlaufenden 760 mm Isobare, durch die Südspitze Schwedens streichend. In den Fällen also, wo über Europa ein einseitig und gleichmässig abnehmender Luftdruck herrscht, auf den Wetterkarten durch den parallelen Verlauf der Isobaren gekennzeichnet und wo gleichzeitig in der westlichen Ostsee ein mittlerer Barometerstand von etwa 760 mm auftritt, nimmt man bei Stralsund keine Rotkehlchen wahr. Sie überfliegen in den Lüften fortwandernd, jenen Landesteil und sehr wahrscheinlich nach der Randzone der jedesmal herrschenden Hochdruckgebiete hin, wie die Betrachtung des folgenden Abschnittes über Hochdruckgebiete und Anticyklone erkennen lässt und daher muss man diese normale Wanderung als eine freiwillige annehmen, gegen die meist nur schwach wehenden Winde gerichtet, gleichgültig, ob die Rotkehlchen dadurch nach Nord oder Süd, nach Ost oder West geführt werden.

## C. Hochdruckgebiete und Anticyklone.

(Hierzu Tab. XX Fig. 10—12.)

Neben den umfangreichen Hochdruckgebieten sollen in diesem Abschnitte auch die Anticyklone in ihrer Beziehung zu den Rotkehlchen-Wanderungen herangezogen werden, jene Luftberge, welche in kreisrunder oder eiförmiger Abrundung grössere Landesteile überlagern und sich durch das Vorhandensein des jeweiligen höchsten barometrischen Luftdruckes und durch das Vorwalten schwacher, nicht selten veränderlicher Winde oder von Windstille auszeichnen, von deren Rande die Luftmassen in der Weise abströmen, dass mit dem Winde fortschreitend das Zentrum des Anticyklonengebietes rechts liegen bleibt. Beide, ausgedehnte Hochdruckgebiete und abgerundete Anticyklone üben eigentümliche, aber verschiedenartige Einflüsse auf den Rotkehlchenzug aus.

In der letzten Septemberwoche 1901, zu einer Zeit also, wo sonst die Herbstwanderungen von Erythacus rubeculus langsam, schwach und recht unregelmässig einzusetzen pflegen, entwickelte sich über der östlichen Hälfte des europäischen Kontinentes ein Hochdruckgebiet, welches sich zwar wiederholt nach Süden oder nach Norden hin verschob und Ausläufer in den zentralen Teil unseres Kontinentes hinein sandte, aber doch einen ziemlich gleichmässigen Luftdruck an der Ostsseküste ausbreitete, der am 23. September mit rund 760 mm anhob, langsam bis zum 29. September auf 770 mm stieg, um dann ebenso langsam bis zum 5. Oktober auf 760 mm zurückzusinken (vgl. Tab. XX Fig. 10). In diesem Zeitraum waren schwache südöstliche Winde vorherrschend, eine Wettererscheinung also, wie sie Gätke als Ursache für die Massenzuwanderung verschiedener Vogelarten nach Helgoland bereits angesprochen hat. Wenn man nun für Stralsund während des angezogenen Zeitraumes gerade nicht von einer Massenzuwanderung sprechen konnte, so boten doch die Tage vom 28. September bis 5. Oktober 1901 eine ganz auffallende Rasterscheinung. Rotkehlchen waren überall in Anlagen und Gärten zerstreut anzutreffen und zwar mit wenigen Ausnahmen zu jeder Tagesstunde, am frühen Morgen, in der Mittagszeit und noch spät abends in der Dämmerung und meist immer an derselben Örtlichkeit. Sie waren offenbar nicht in langsam fortschreitender Zugbewegung, sondern zugewandert und hatten vorübergehend bei Stralsund Standquartiere bezogen, ganz ähnlich wie im Frühling, wenn unser Vögelchen zur Fortpflanzung schreiten will, oder wie im Schneewinter, wenn das eine oder andere Exemplar, vom Einbruch des Winters überrascht, sich als seltener Gast in der Nähe von Wohnstätten oder von Winterfutterstellen für einige Zeit sesshaft macht. Die Anlehnung an das Verhalten von Standvögeln auf ihrem fest begrenzten Revier gestaltete sich noch auffallender, als am 2., 3. und 4. Oktober 1901 eine merkliche Zunahme von Rotkehlchen eintrat. Gar nicht selten konnte man jenen charakteristischen, langgedehnten Vogellaut wahrnehmen, wodurch jedes Rotkehlchen in der Gefangenschaft sein Missbehagen und seinen Ärger ausdrückt, sobald ein zweites Exemplar seiner Art in unmittelbare Nähe kommt und womit in den meisten Fällen jener erbitterte Kampf eingeleitet wird, der ohne Eingreifen des Vogelliebhabers oft mit dem Tode des schwächeren Individums endet. Auch in den Hecken und Strauch-

pflanzungen blieb es in diesen Tagen nicht bei jenem Ausruf des Unwillens, wiederholt konnte man sich jagende und befehdende Rotkehlchen beobachten, obgleich für alle Raum ausreichend vorhanden war, weil nicht einmal eine besonders starke Zuwanderung vorlag. Fast plötzlich, im Laufe eines Tages verschwand diese eigentümliche, biologische Erscheinung in dem Wanderleben unserer einheimischen Erythacus-Art, als das Hochdruckgebiet in Nordost-Europa am 5. Oktober 1901 nicht mehr vorhanden war und über der nördlichen Nordsee eine ausgedehnte Depression sich einstellte, welche eine Reihe von Teildepressionen mit ausgeprägten Wirbelstürmen über Zentral-Europa eintreten liess.

Ähnliche Rasterscheinungen zeitigte das Hochdruckgebiet über Nordwest-Europa vom 29. Oktober bis 5. November 1901. Am 29. Oktober 1901 morgens war eine starke Zuwanderung von Rotkehlchen erfolgt, verursacht durch eine barometrische Depression über dem mittleren Schweden und Finnland, wie sie bereits bei der Darstellung des Einflusses typischer Luftwirbel geschildert wurde. Eine zweite Depression lag über dem atlantischen Ozean vor dem Eingang zum Kanal, Zentral-Europa hatte ein Hochdruckgebiet, während sich gleichzeitig ein zweites Hochdruckgebiet mit 750 mm Druck über Nordwest-Europa entwickelte, das sich allmählich ausdehnend, langsam südöstlich vorrückte, bis es am 4. und 5. November den grössten Teil von Europa überdeckte und in Norddeutschland bei 775 mm Hochdruck eine typische Anticyklone hervorrief, um dann einer Wetterlage mit parallelen, von Nordwest nach Südost verlaufenden Isobaren zu weichen, mit einem schmalen Hochdruckgürtel schräg über Europa und Gebieten niedrigen Luftdruckes in Nordost- und Südwest-Europa. Während unter dem Einfluss jenes Luftwirbels vom 29. Oktober 1901, der das mittlere Schweden und Finnland beherrschte, am Morgen des genannten Tages eine starke, am 30. Oktober 1901 früh noch eine schwächere Zuwanderung erfolgt war, ohne dass an den übrigen Tagesstunden Rotkehlchen zu bemerken waren, trat in den Tagen vom 31. Oktober bis 4. November 1901 unter dem Einfluss des in Nordwest-Europa sich ausbildenden Hochdruckgebietes (vgl. Tab. XX Fig. 11) eine ganz andere Erscheinung in dem Wanderleben unserer einheimischen Erythacus-Art ein, eine getreue Wiederholung jener Zuwanderung vom 23. September bis 5. Oktober 1901, nur erheblich abgeschwächt nach der

Kopfzahl der Rast haltenden Vögel und hin und wieder wegen der geringeren Anzahl auf einige Stunden vorübergehend unterbrochen. Auch diese Rotkehlchen blieben meist an ein und derselben beschränkten Örtlichkeit, wo man sie tagelang nach einander vereinzelt antreffen konnte und machten denselben Eindruck auf den Beobachter wie gelegentlich überwinternde Vögel. Keine auffallende Beweglichkeit, kein schneller Ortswechsel, keine Unruhe beim Durchstreichen der Gebüsche und Hecken, keine Hast bei der Futtersuche, kein Aufstieg auf hohes Gesträuch oder Baumwipfel waren die Kennzeichen, welche diese Rast haltenden Vögel in ihrem biologischen Verhalten zu den herrschenden Witterungsverhältnissen ganz wesentlich von jenen vorübereilenden Wandergästen unterschied, welche sich einstellen, wenn bestimmte Niederdruckgebiete die Atmosphäre in wirbelnde Strömungen an der Ostseeküste versetzen.

Jenes von Nordwesten anrückende Hochdruckgebiet hatte vom 2. bis 4. November 1901 so an Ausdehnung zugenommen, dass es Nordwest- und Zentral-Europa überlagerte. Im Laufe des 4. November und am 5. November 1901 entwickelte sich aus diesem Hochdruckgebiet eine typische Anticyklone mit umgehenden, veränderlichen und sehr schwachen Luftströmungen im Zentrum, ein eiförmig abgerundetes Gebiet höchsten Luftdruckes, welches am 5. November 1901 morgens von der Helgoländer Bucht bis nach Breslau reichte, schwache strahlende Winde nach allen Himmelsrichtungen abfluten liess und von 775 mm Hochdruck beherrscht wurde (vgl. Tab. XX Fig. 12). Sofort nahm die Kopfzahl der Rotkehlchen, welche sich nun aber auffallend unruhig verhielten, den Aufenthaltsort schnell wechselten und auf Strauch- und Baumwipfel emporstiegen, um nach verhältnismässig kurzer Frist wieder fortzuwandern, ganz erheblich zu, steigerte sich lebhaft am Abend des 4. November 1901, um am nächsten Morgen sehr bald zu schwinden, sodass in den Mittagsstunden des 5. November 1901 Rotkehlchen in Stralsund nicht angetroffen wurden. In den folgenden Tagen, wo ein gleichmässiger Luftdruck mit fast parallel laufenden Isobaren, ohne ausgeprägte Luftwirbel (Cyklone) und ohne strahlende Luftbewegung (Anticyklone) vorherrschte, zeigten sich Rotkehlchen nur vereinzelt bald zu dieser, bald zu jener Tagesstunde.

Jene Erscheinung der vermehrten Zuwanderung im Herzen abgerundeter, barometrischer Hochdruckgebiete, der Anticyklonen, wiederholte

sich im Herbst 1901 noch einmal viel auffallender und überzeugender, als sich die vorhin geschilderte Wetterlage vom 22. bis 25. November 1901 abends einstellte und das Zentrum der von Schottland aus in südöstlicher Richtung fortwandernden Anticyklone mit einer Druckhöhe von 775 mm am 24. November 1901 Norddeutschland erreichte. Eine eingehende Untersuchung in den frühen Morgenstunden des genannten Tages, welche sich über vorstädtische Gärten und Anlagen, über das Hainholz und kleinere Strauchpflanzungen im Weichbilde der Stadt, sowie über den Bruchwald von Grünhufe erstreckte, ergab das vollständige Fehlen von Rotkehlchen. Es war ein schöner, ruhiger Herbsttag, fast windstill, der schwache Luftzug setzte zuerst aus Nordost, dann aus Südwest und schliesslich aus Ost ein, als es plötzlich gegen 11 Uhr vormittags in Gärten und Hecken lebendig wurde und selbst Reisighaufen und Staketenzäune von lockenden und Futter suchenden Rotkehlchen in grösserer Zahl besucht wurden. Überall, wo sich eine geeignete Örtlichkeit bot, waren auch Rotkehlchen und mit ihnen einige Heckenbraunellen vorhanden. Viele von ihnen zeigten gleich nach der Ankunft jene auffallende Unruhe und die ausgesprochene Neigung zur Weiterreise. Von Hecken und Zäunen strebten sie aufwärts auf das höher stehende Zweigwerk und auf die Wipfel der Bäume und schon zwischen 1 und 2 Uhr nachmittags war diese Einkehr fast ebenso unvermittelt verschwunden, wie sie überraschend eingetreten war.

## Zusammenstellung und Schlussfolgerungen aus den Wanderkarten Herbst 1899—1901.

Die Untersuchungen über die in die Herbstmonate fallenden Rasterscheinungen wandernder Rotkehlchen, soweit dieselben mit meteorologischen Erscheinungen, vor allem mit der Verteilung des Luftdruckes über Europa und den dadurch bedingten Wetterlagen, mit den Wirbelstürmen und anderen, eigenartigen Wettererscheinungen in Zusammenhang stehen, führen zu Erkenntnissen, welche als Prüfstein für die wichtigsten Hypothesen, die uns die Wandererscheinungen der Vogelwelt zu erklären versuchen, Verwendung finden können. Über die Statistik des Rotkehlchen-Herbstzuges, die Dauer dieser Wanderungen und die Häufigkeits-Verhältnisse der Zugvögel betreffend, sind verschiedene wertvolle Angaben in der ornithologischen Literatur niedergelegt: nach Gätke[1]) beginnt auf Helgoland die Herbstwanderung des Rotkehlchens im September, der Hauptzug fällt in den Oktober — nach R. Blasius[2]) wandert das Rotkehlchen bei Braunschweig Mitte September bis Mitte November, einzelne Vögel überwintern und nach demselben Autor[3]) erfolgt an den Leuchttürmen der Ostsee der Anflug nächtlich wandernder Rotkehlchen von September bis Mitte November, am häufigsten im Oktober; Rast haltende Rotkehlchen werden dort am Tage gelegentlich schon im August, häufig um Mitte Oktober herum beobachtet und verschwinden Mitte November — nach Wüstnei und Clodius[4]) wandern die Rotkehlchen

[1]) Gätke, Die Vogelwarte Helgoland. Braunschweig 1891. S. 13—23.

[2]) R. Blasius, Die Vögel der Herzogtümer Braunschweig. Braunschweig 1896. S. 38.

[3]) R. Blasius, Vogelleben an den deutschen Leuchttürmen. 1888—1890.

[4]) Wüstnei und Clodius, Die Vögel der Grossherzogtümer Meklenburg. Güstrow 1900. S. 138.

in Mecklenburg von September bis Ende November, einzelne überwintern und nach Naumann[1]) reicht der Herbstzug von September bis Ende November, der Hauptzug fällt in die zweite Oktoberhälfte, einzelne Rotkehlchen überwintern. Das sind Zugdaten, welche im allgemeinen mit den für Stralsund gewonnenen übereinstimmen, nur reicht der Herbstzug mit seinen schwachen Ausgangserscheinungen bis an die Jahreswende und gelegentlich noch darüber hinaus und die Hauptfrequenz Rast haltender Rotkehlchen fällt mit ihrem Schwergewicht mehr in die erste, als in die zweite Oktoberhälfte. Beachtenswert ist zudem die Tatsache, das auf der benachbarten, isoliert in der Ostsee liegenden Greifswalder Oie (Vogelleben an den deutschen Leuchttürmen) am Tage überhaupt keine rastenden Rotkehlchen beobachtet wurden, während sie auf der ebenfalls benachbarten Insel Hiddensee, welche ganz nahe an dem pommerschen Festlande und an Insel Rügen liegt, nach Angaben der Leuchtturmwärter im Oktober keine seltene Tageserscheinung bieten, oft in Gesellschaft mit Rotschwänzchen dort eintreffend.

Über die Wege, welche die Zugvögel zur Herbstzeit einschlagen, und über die Beziehungen der Herbstwanderer zu den Windverhältnissen, bestehen noch mancherlei Meinungsverschiedenheiten. Eine ansehnliche Anhängerschaft findet bekanntlich die Zugstrassen-Hypothese von Palmén, die bereits von Wallace durch die Annahme besonderer Wanderstrassen in den Flusstälern und durch die aus Landvorsprüngen und Inseln über die grösseren Meere gelegten Landbrücken angebahnt worden war. Palmén überweist die Sylvien, also auch das Rotkehlchen, seiner Kategorie der Landzugvögel und lässt die Herbstwanderung, soweit es den Beobachtungsort Stralsund angehen würde, in der ausgesprochenen Richtung Nord-Süd von Skandinavien her über Schonen, von den dänischen Inseln und Jütland nach Deutschland hinein sich vollziehen, im Anschluss an die durch Flusstäler und Niederungen vorgezeichneten Zugstrassen der Sumpf-Zugvögel, aber abgelenkt durch Waldungen und Buschpflanzungen. Das würde also ein baumartig verästeltes Zugstrassen-Netz sein, dessen Bahnen sich bald unter dem Einfluss der Bodenverhältnisse verbreitern, bald sich maschenartig zusammenschliessen, aber immer bis zum Fuss der Alpen der Hauptrichtung

[1]) Naumann, Naturgeschichte der Vögel Mitteleuropas. Gera-Untermhaus. Bd. I. S. 25.

Nord-Süd folgend, Meeresgebieten und Hochgebirgen ausweichend. Nach E. F. von Homeyer (S. 176, 358) vollziehen sich die Wanderungen der Vögel in breiter Front, im Herbst von Nordost nach Südwest, in der Umgebung Stralsunds (S. 358) indessen ein wenig abgelenkt von Nord nach Süd. Das Rotkehlchen wandert nach E. F. von Homeyer in dieser Richtung und Anordnung bei Nacht, mit dem Winde fliegend, von Südschweden über die Ostsee weg nach Pommern hinüber, an geeigneten Stellen, Niederungen, Buschpflanzungen und Waldungen Rast machend. Dagegen vertritt Gätke auf Grund seiner langjährigen Beobachtungen auf Helgoland einen wesentlich anderen Standpunkt. Die überwiegende Zahl aller europäischen Vogelarten wandert hoch in den Lüften in der Richtung Ost-West im Herbst, eine Reihe anderer Arten dagegen Nord-Süd, also im Sinne der Meridiane und Breitengrade des Kartennetzes und in breiter Front, nicht auf engen, räumlich abgegrenzten Zugstrassen. Das Rotkehlchen kommt nach der Auffassung Gätkes im Herbst von Osten her, macht bei gestörter Wanderung Rast an geeigneten Örtlichkeiten, besonders im Bereiche der bewaldeten Flussniederungen, welche es vielfach quer überwandert und kann sich hier anhäufen und dadurch die Ursache für die Annahme besonderer Flusswanderstrassen abgeben. Auch die Darstellung des Vogelzuges nach O. Hermann[1]) muss in diesem kurzen Abrisse Erwähnung finden, welche nach verschiedenen Richtungen hin die Bedeutung der allgemeinen geographischen Lage, der Höhenlage und der Wärmefaktoren beleuchtet und zu der Auffassung gelangt, dass beide Zugformen, die Wanderung auf örtlich feststehenden Heerstrassen und die Wanderung in breiter Front zutreffend sind, dass ein und dieselbe Vogelart auf dem Durchzuge von der Winterherberge zum Brutrevier in Ländergebieten, wo die betreffende Art nicht brütet, sich auf bestimmten Heerstrassen fortbewegt, im Bereiche des Brutgebietes sich alsdann zwecks Besiedelung in breiter Front ausbreitet. Das Rotkehlchen brütet in ganz Europa von 68 Grad nördlicher Breite an und vom Ural bis zum Atlantischen Ozean, ausserdem im westlichen Teil Nord-Afrikas. Die Überwinterung erfolgt in Süd-Europa, Nord-Afrika, Palästina und Turkestan. Da Brutgebiet und Winterherberge in einander übergreifen, dürfte für das Rotkehlchen nur die Zugform in breiter Front zu erwarten

[1]) O. Hermann, Vom Zuge der Vögel auf positiver Grundlage. Budapest 1899.

sein, dichte Anhäufungen auf engen Heerstrassen würde auch der zänkische Charakter dieses Vögelchens ausschliessen. Anhäufungen von Rotkehlchen in grossem und dicht geschlossenem Wanderverbande dürften in der Tat auch an keinem Beobachtungspunkte festgestellt sein, W. Knauthe beobachtete Ende Oktober 1892 auf dem mittelländischen Meere in der Nähe der tunesischen Küste einige Rotkehlchenflüge in Stärke von etwa 40 Stück gegen schwachen Südwestwind niedrig anfliegend, welche teils ermattet sich an Bord niederliessen, teils sogar auf dem Meere zu Grunde gingen. (Zeitschrift für Ornithologie. Stettin 1. Dezember 1892.) Auch an den deutschen Leuchttürmen wurde dann und wann nächtlicher Anflug in grösserer Kopfzahl festgestellt, doch nimmt ein derartiger Anflug stets mehrere Stunden in Anspruch, sodass keine dicht geschlossenen Wanderscharen, sondern locker zusammenhängende Einzelwanderer anzunehmen sind. Immerhin mag beim Überfliegen breiterer Meeresgebiete das Rotkehlchen sich gelegentlich zu kleinen Wandergesellschaften zusammenfinden, ein ähnliches dürfte auch beim Durchwandern enger Gebirgstäler eintreten.

Die Untersuchungen über die Rotkehlchen-Wanderungen in Stralsund im Herbst 1899 bis 1901 haben einen gewissen Einblick in die aviphänologischen Grunderscheinungen dieses Vogelzuges gewährt: sie haben die Überzeugung bringen müssen, dass klimatische Faktoren den ersten Anstoss für die beginnende Herbstwanderung abgeben, dass das Rotkehlchen nicht eilends von Nord-Europa nach den Mittelmeer-Gestaden wandert, sondern dass es sich langsam dorthin fortbewegt, bald hierhin, bald dorthin verfliegend oder vom Wetter verschlagen, dass es in sehr losem Verbande, also in breiter Front wandert, dass die Dauer des Herbstdurchzuges 3 bis 3½ Monat beträgt, dass auch in Stralsund Rotkehlchen überwintern, dass die zahlreichen überall in Deutschland auftretenden Wintervögel unmöglich freigelassene Käfigvögel sein können, sondern einer geographischen Lokalrasse nordischen Ursprungs angehören, wenn sonst auch die Frage nach den Lokalrassen des Rotkehlchens wegen der geringfügigen Unterscheidungsmerkmale eine schwierige sein mag und dass endlich vor allen Dingen die Herbstwanderung des Rotkehlchens von bestimmten meteorologischen Ursachen, von den jeweiligen Wetterlagen und den vorherrschenden Witterungsverhältnissen in direkter Abhängigkeit steht. Barometrische Tiefdruckgebiete.

welche die Ostsee durchqueren und ausgeprägte Wirbelstürme oder nur halbseitig wirbelnde Winde veranlassen, zwingen die Rotkehlchen den Wanderflug an der Ostseeküste zu unterbrechen und Rast zu halten, Wetterlagen mit gleichmässigem, mittlerem Luftdruck und mit parallelen Isobaren sichern dem Rotkehlchen die Ausführung des freiwilligen nächtlichen Wanderfluges über die Ostseeküste hinweg und dies offenbar nach Massgabe der verschiedenen Wetterlagen dieser Art auch bei den verschiedensten Windrichtungen, Hochdruckgebiete in Nord- und Ost-Europa führen die Rotkehlchen an die Randzonen der barometrischen Maxima und lassen sie dort längere Zeit rasten, während im Herzen der Anticyklonen Rotkehlchen nur vorübergehend auftreten, stets unruhig und bereit zur Weiterreise. Die Flugrichtungen bei den Wirbelstürmen können wegen der Luftgeschwindigkeit von 20—40 m in der Sekunde und der Schwächlichkeit des Vögelchens nur passive sein, die Rotkehlchen werden mit dem Winde fortgetragen; in den übrigen Fällen können dagegen aktive Flugerscheinungen gegen den Wind sehr wohl eintreten, sie sind gelegentlich anzunehmen bei dem Vorwalten eines gleichmässigen, mittleren Luftdruckes und als Regel bei dem Auftreten barometrischer Hochdruckgebiete in Ost-Europa.

Unter diesen Gesichtspunkten mag ein nochmaliger Rückblick auf gewisse Wandererscheinungen im Herbst 1901 von Belang sein. Unter dem in der Wanderkarte für 1901 aufgezeichnetem Beobachtungsmaterial bietet der Zeitpunkt vom 28. September bis zum 5. Oktober 1901 ein besonderes Interesse dar, weil eine fast gleichmässige, am Schluss dieser Periode sich erheblich steigernde Zuwanderung erfolgte. An diesen Tagen bestand ein Hochdruckgebiet über Ost-Europa, fast ausnahmslos wehten östliche bis südliche Winde mit schwacher Luftbewegung über Zentral-Europa, die ihre Richtung nur wenig und langsam änderten, wie aus der Wetterkarte vom 3. Oktober 1901, morgens 8 Uhr (vgl. Tab. XX Fig. 10) ersichtlich ist. Die langsam über Nord-Deutschland strömende Luft wurde nach Jütland, den dänischen Inseln und der norwegischen Küste zusammengeführt. In England und im Kanal waren Westwinde, in Nord-Frankreich südliche Winde, in Deutschland südliche bis südöstliche und im nördlichen Russland östliche Winde vorherrschend. Im allgemeinen bleibt nach den von Gätke entwickelten Gesichtspunkten das dauernde Verweilen der Rotkehlchen

unaufgeklärt, da die günstigsten Bedingungen für eine ungestörte, hoch in den Lüften sich vollziehende Wanderung von Ost nach West vorlagen, warmes, sonniges und ruhiges Wetter und klare Nächte mit hellem Mondschein. Gätke selbst gibt indessen an, dass andauernde südöstliche Winde viele Wandervögel nach Helgoland führen. Auch E. F. von Homeyers Anschauungen stehen mit dieser Erscheinung teilweise im Widerspruch, da der Wind dauernd nach Schweden hinüberwehte, durften Rotkehlchen überhaupt nicht als Wandergäste an der pommerschen Küste erscheinen. Die Zugstrassen-Hypothese von Palmén, welche sich nicht an meteorologische Faktoren bindet, würde die Zuwanderung auf der Zugstrasse von Schonen über die dänischen Inseln nach Schleswig-Holstein und an die Ostseeküste erklären, aber nicht das dauernde Verweilen und die Zunahme an Rotkehlchen, da eben die günstigsten Bedingungen für die Weiterreise vorlagen. Die Hemmung des eben einsetzenden Herbstzuges und die Anhäufung Rast machender Rotkehlchen stand offenbar unter dem Einfluss des barometrischen Hochdruckgebietes in Ost-Europa, welches sich hin und her verschob und in seinem Zentrum die Rotkehlchen unruhig und reiselustig werden liess und sie zur Wanderung nach Süd und West aus den Brutrevieren in Russland zwang. Die herbstlich sich ändernden, klimatischen Verhältnisse im mittleren und nördlichen Skandinavien brachten gleichzeitig diese nordischen Rotkehlchen in Zugbewegung, führten sie an die schwedische, dänische und deutsche Ostseeküste, woselbst sie durch das Bestehen eines Hochdruckgebietes in Ost-Europa und zwar an der Randzone desselben zur Rast veranlasst wurden. Zuwanderung, dauerndes Verweilen und Anhäufung der Rotkehlchen an der deutschen Ostseeküste sind so auf klimatischer und meteorologischer Grundlage einheitlich für die Dauer vom 28. September bis 5. Oktober 1901 zu erklären. Diese Erklärung wird sich weiterhin brauchbar erweisen, um die Ursachen der starken Massenwanderung von Rotkehlchen am Abend des 7. Oktober 1901 unter dem Einfluss eines typischen Wirbelsturmes aufzudecken. Am 5. Oktober 1901 morgens war jene Wetterlage, Hochdruckgebiet in Ost-Europa mit gleichmässigen und schwachen südöstlichen Winden über Deutschland und die westliche Ostsee, auffallend geändert: eine kleine, langgestreckte barometrische Depression hatte sich gleichsam als Riegel über Mittel-Deutschland, von Frankfurt a. M.,

an Berlin vorüber bis in die Gegend von Posen ausgebreitet und wirbelnde Windbewegungen über Deutschland hervorgerufen. Das Bestehen eines Luftwirbels musste, wenn wir die Annahme, dass die Rotkehlchen wegen der Windstärke ausgebildeter Cyklone gezwungen sind, mit dem Winde zu wandern, festhalten, einen völligen Umschwung in der Zugerscheinung herbeiführen. In der Tat löschte dieses barometrische Niederdruckgebiet, welches die Ostsee nicht durchquerte, sondern südlich von Stralsund lagerte, die auffallende Rasterscheinung der Rotkehlchen vollkommeu aus, sie schritten offenbar sofort zur Weiterreise. Da die dem Zentrum eines Cyklonengebietes allseitig zuströmenden Wirbelwinde bekanntlich in der Nähe des Zentrums emporsteigen und die wandernden Rotkehlchen ein Spielball der wirbelnden Winde werden können, ist es nicht unmöglich, dass wenigstens

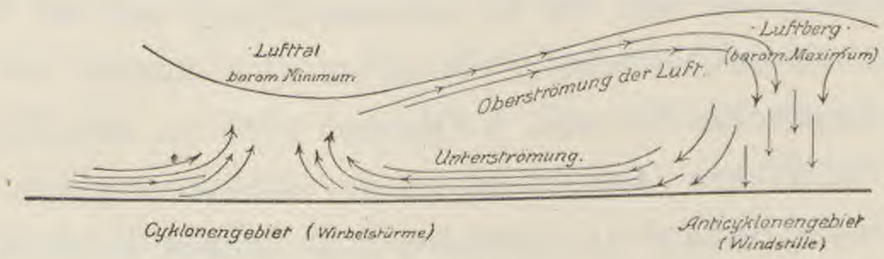



Fig. 13.

ein Teil der Wandervögel durch den Luftauftrieb am Rande des barometrischen Minimums höheren Luftregionen und den Oberströmungen der Atmosphäre willenlos zugeführt werden, wie die beigefügte Skizze, welche die Beziehungen zwischen barometrischen Hochdruck- und Tiefdruckgebieten, sobald es sich namentlich um das Auftreten in sich abgerundeter Cyklonengebiete mit ausgebildeten Luftwirbeln handelt, erläutern mag (Fig. 13).

So liesse sich die schnelle Abnahme der Rotkehlchen in Stralsund am 5. Oktober 1901, ihr völliges Verschwinden vom Abend dieses Tages bis zum Nachmittag des folgenden erklären und so würde man einen weiteren Aufschluss für das plötzliche, kurzdauernde Erscheinen und das merkwürdige, unruhige Verhalten wandernder Rotkehlchen im Herzen der Anticyklone, wo die Lüfte der Oberströmungen gerade entgegengesetzt aus der Höhe zur Erde herabfluten, finden. Indessen dürfte ein derartiges Verschlagen überhaupt nur bei schweren Wetterkatastrophen möglich sein, da nach den

von Lucanus bei Ballonfahrten gemachten Beobachtungen Wandervögel nicht viel höher wie 400 m ziehen, wenngleich Störche und Bussarde in Höhen von 900 m, Krähen bei 1400 m und Lerchen bei 1900 m gelegentlich angetroffen wurden, aber stets unterhalb der Wolkendecke. Dagegen behauptet allerdings Gätke auf Grund von Fernrohr-Beobachtungen das Bestehen normaler Wanderungen in den Hochschichten der Atmosphäre. (Vgl. Fr. von Lucanus, Die Höhe des Vogelzuges. Neudamm 1904 und Gätke, Die Vogelwarte Helgoland.)

Fünf weitere Wirbelsturm-Zentren, welche nordöstlich an Stralsund vorübergingen und die Ostsee durchquerten, brachten die Atmosphäre in den folgenden Tagen, vom 6. bis 9. Oktober 1901 in drehende, stürmische Bewegung und liessen die Rotkehlchen bald kommen, bald verschwinden, wie die im vorigen Abschnitt niedergelegten Depressions- und Windkarten (vgl. Tab. XX Fig. 3—4) und die Zusammenstellung auf der Wanderkarte Herbst 1901 dies veranschaulichen. Vor allem aber häuften sie den in den Tagen vom 23. September bis zum 5. Oktober 1901 an den Küstengebieten und Inseln der westlichen Ostsee und an der westnorwegischen Küste angesammelten grossen Bestand an rastenden Rotkehlchen durch ihre wirbelnde Bewegung zusammen und verursachten jene grossartige Rasterscheinung von Rotkelchen und Singdrosseln am Abend des 7. Oktober 1901, wie ich sie von diesen beiden Vogelarten weder zuvor noch später jemals wieder in ähnlichem Umfange beobachtet habe.

Die auf Grund des Wetterkarten-Materials der Hamburger Seewarte für den 7. Oktober 1901 morgens entworfene Windkarte (vgl. Abschnitt Tiefdruckgebiete und Wirbelstürme und Tab. XX Fig. 3) zeigt ein Wirbelsturm-Zentrum auf der Ostsee, zwischen Süd-Schweden und der hinterpommerschen Küste, ein zweites erreicht gerade die norwegische Küste. Zu dem ersten Zentrum laufen drei getrennte Sturmbahnen; vom Eingang des Kanals über Nord-Frankreich und Mittel-Deutschland mit stürmischen Westwinden, von Nord-Schottland über die Helgoland-Bucht mit Nordweststurm und in gleicher Richtung von Skudesnäs über Jütland und Mecklenburg hinweg, um sich über Ost-Deutschland zu vereinigen und in spiraliger Windung an dem Wirbelsturm-Zentrum vorüber sich nordwärts wendend, an der Ostküste Süd-Schwedens auszulaufen, wo annähernd Windstille herrschte. Das zweite

Wirbelsturm-Zentrum an der norwegischen Küste hatte eine beschränkte Sturmbahn an seiner Südseite, welche mit der nordwestlich gerichteten Sturmbahn des ersten Wirbels in Berührung trat. Das Wirbelzentrum über Ostsee und Süd-Schweden hatte relative Ruhe, hierher wurden die zugewanderten, rastenden Rotkehlchen in Massen zusammengehäuft, wie wir es auf Grund der geschilderten Windverhältnisse annehmen dürfen, eine beschränkte Anzahl dürfte gleichzeitig den Oberströmungen der Atmosphäre zugeführt worden sein. Als darauf die Depression über der Ostsee weiter südöstlich vorrückte und das norwegische Minimum quer über Skandinavien fortwanderte, fegte stürmischer Nordwest über Süd-Schweden, Dänemark und die westliche Ostsee und brachte bis in die tiefe Dämmerung hinein jene gewaltigen, zusammengehäuften Wanderscharen von Rotkehlchen und Singdrosseln an die Küste Neuvorpommerns. Man könnte einwenden, dass diese Massenwanderung gerade ein Beweis für das Bestehen einer engbegrenzten Wanderstrasse von Skandinavien über Dänemark nach Deutschland hinein abgäbe. Allein dann hätte diese Erscheinung bereits am frühen Morgen des 7. Oktober 1901 eintreten müssen, der Nordwest-Sturm hätte schon zu diesem Zeitpunkt die Rotkehlchen von jener angenommenen Heerstrasse, der dänischen Landbrücke, nach der deutschen Ostseeküste hinübertragen müssen. Es hätte auch keine weitere Zuwanderung von dort her am 8., 10. und 11. Oktober 1901 bei nordwestlichen und nördlichen Winden mehr erfolgen können, da der Vorrat an Wandervögeln durch jene erste, sehr schwere Wetterkatastrophe erschöpft sein musste und von der Nordsee und dem atlantischen Ozean keine Zuwanderung erfolgen konnte, und vor allen Dingen durfte dann am 9. Oktober 1901 bei starkem Südost-Winde kein so bedeutender Bestand an rastenden Rotkehlchen bei Stralsund auftreten. Und wie konnten sich von der dänischen Landbrücke, der von Palmén angenommenen eng begrenzten Wanderstrasse, die Rotkehlchen so weit östlich, bis nach Stralsund und sehr wahrscheinlich noch weit darüber hinaus zu allen geeigneten ostdeutschen Örtlichkeiten, in den Tagen vom 28. September bis 5. Oktober 1901 entfernen? Alle die beobachteten Rasterscheinungen vom 7. bis 11. Oktober 1901 sind einheitlich nur zu erklären, wenn man die zahlreichen Wirbelsturm-Zentren, welche zu dieser Zeit die Ostsee durchquerten, als Sammeleinrichtungen betrachtet, wodurch von ver-

schiedenen Ländergebieten her die Rotkehlchen dem Ostseebecken zugeführt und in den angrenzenden Küstengegenden bald hier, bald dort zur Rast veranlasst werden. Wenn dann das Wirbelsturm-Zentrum die Ostsee durchquert, sodass bei Stralsund die Wirbelwinde rechtsdrehend abflauen, gelangen die Rotkehlchen mit dem Winde von Süd-Schweden, West-Norwegen, den dänischen Inseln, Jütland und Mecklenburg an die Küste Neuvorpommerns, wo sie den Wanderflug alsbald unterbreehen und vorübergehend Einkehr halten.

Unsere Annahme, dass insonderheit solche Wirbelsturm-Gebiete, deren Zentren die Ostsee von Dänemark und Schweden aus nach der deutschen oder westrussischen Küste hin durchqueren, wandernde Rotkehlchen aus verschiedenen Ländern Mittel-Europas sammeln und sie ganz unabhängig von der vielfach angenommenen Wanderstrasse, der dänischen Landbrücke, welche die skandinavische Halbinsel mit Deutschland in Verbindung setzt — jedem geeigneten Orte an der deutschen Ostseeküste, wo die Terrain- und Vegetationsverhältnisse die Bedingungen für Aufenthalt und Nahrung gewährleisten, vorübergehend zuführt, findet eine weitere Unterstützung in der verschiedenartigen Wirkung der barometrischen Minima (vgl. Depressionskarte für 12.—16. November 1901, Tab. XX Fig. 6) von denen Depression I von Westen her am Morgen des 12. November in Irland anhebend, in nordöstlicher Richtung über Süd-England, die Nordsee, Schleswig-Holstein und die Ostsee bis zur russischen Küste vorrückte, also die Ostsee nicht durchquerte, sondern der Länge nach durchlief. Diese erste Depression rief auch keine vollendeten Luftwirbel hervor, von Anfang an schied eine Linie von England über Süd-Schweden nach der Riga-Bucht zwei Gebiete entgegengesetzter Luftströmung, nördlich von dieser Grenze wehten andauernd östliche Winde, südlich davon dagegen südwestliche Winde (vgl. Tab. XX Fig. 14). In breiter Bahn führte eine östliche Luftströmung über die russische Ostseeküste nach Dänemark und endete am 12. November 1901 mit Nordoststurm in Irland, am folgenden Tage mit Nordsturm in England und tags darauf mit Oststurm auf den dänischen Inseln und an der englischen Küste. Wahrscheinlich suchten in diesen Tagen die Rotkehlchen Rast in England. In dem Beobachtungsgebiet bei Stralsund waren währenddessen bei südwestlichen Winden nur hin und wieder vereinzelt Rotkehlchen aufgetaucht, am 13. November 1901

waren sie sogar völlig verschwunden. Als aber in der Nacht vom 14. zum 15. November 1901 sich ein neues Minimum II an der dänischen Nordseeküste abschnürte, welches quer über die Ostsee wanderte und hier einen typischen Luftwirbel hervorrief, sodass in jener Nacht Südweststurm an der vorpommerschen Küste eintrat, war am 15. November 1901 morgens ein ansehnlicher Bestand an Rotkehlchen vorhanden, nachdem der Sturm sich bereits ausgetobt hatte. Wieder also die gleiche Verknüpfung von Ursache und Wirkung wie in den Oktobertagen: die Sturmbahnen solcher Cyklone, deren Zentren die Ostsee durchqueren, sammeln die Rotkehlchen und lassen sie, nachdem die barometrische Depression weiter fortgerückt und dadurch die Winde rechtsdrehend abgeflaut sind, zuwandern, landen und rasten.

Fassen wir die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zusammen, so berechtigen sie zu nachstehenden Schlussfolgerungen:

1. Der Herbstzug der Rotkehlchen geht langsam von statten, nicht in eilender Hast über weite Länderstrecken vom Brutgebiet zur Winterherberge, sondern die Rotkehlchen weichen allmählich aus Ländergebieten, wo die klimatischen Verhältnisse sich mit der herbstlichen Jahreszeit ungünstig verändern, in andere mit milderem Herbstklima, mit ausreichendem Baum- und Strauchschutz und mit ausreichenden Nahrungsstoffen, häufen sich dort an und verweilen wochenlang an solchen weitgedehnten Landgebieten, wobei sie sehr oft unter dem Einfluss meteorologischer Ursachen ihren Aufenthalt verschieben.

2. Hinsichtlich der Frequenz sind im Herbst drei Perioden zu unterscheiden: eine etwa zwanzigtägige Massenwanderung im Oktober, eine lebhafte Wanderung in der zweiten Oktoberhälfte und im November und eine schwache Wanderung, welche bis in den Januar hinein anhalten kann.

3. Die Rotkehlchen wandern nicht auf engen, geographisch vorgeschriebenen Heerstrassen oder netzartig gegliederten, kontinentalen Wanderstrassen, sondern in breiter Front und streichen nach verschiedenen Himmelsrichtungen umher. Die Notwendigkeit, Rast zu machen, um auszuruhen und vor allen Dingen der Nahrungssuche nachzugehen, bringt sie häufig an solche Orte, wo Niederungen mit Waldbestand und Buschpflanzungen vorwiegen und an die Grenzen von Land und Meer, an die Seeküsten,

Inseln und Flussmündungen. Daraus ist die Annahme geographisch begrenzter, bestimmt vorgeschriebener Wanderstrassen, seien es Landbrücken, Uferstrassen, Flussstrassen oder das durch Niederungen und Waldungen vorgezeichnete Wandernetz der Festländer entstanden.

4. Die auffallendsten Rasterscheinungen erfolgen unter dem Einfluss barometrischer Depressionen, der Wirbelsturm-Zentren, welche eine Zusammenhäufung der Rotkehlchen verursachen und sie in einer gewissen Entfernung vom Zentrum, wo die stürmischen Winde abzuflauen beginnen, rasten lassen. In Stralsund tritt diese Erscheinung ein, wenn das Zentrum des Cyklons Süd- und Mittel- oder selbst Nord-Schweden erreicht und quer über die Ostsee wandert.

5. Eine ähnliche, aber schwächere Rasterscheinung erfolgt, wenn nördlich gelegene, ausgebreitete Depressionsgebiete halbseitige Luftwirbel mit schwächeren Winden über der westlichen Ostsee erzeugen.

6. Bei mittlerem Barometerstande und ruhiger Wetterlage, ohne wirbelnde Cyklone und ohne strahlende Anticyklone, vollführen die Rotkehlchen den normalen Wanderflug, unabhängig von der Windrichtung. Sie verlassen die Raststationen und werden wenig oder selbst tagelang gar nicht beobachtet.

7. Hochdruckgebiete in Nord- oder Ost-Europa lassen die wandernden Rotkehlchen in Stralsund rasten.

8. Im Herzen der Anticyklone kann eine schwache Zuwanderung von kurzer Rastdauer auffallend unruhiger Rotkehlchen erfolgen.

9. Die Zuwanderungen sind nicht direkt von der Windrichtung abhängig. Bei den Wirbelstürmen der Ostsee wandern die Rotkehlchen mit dem Winde, bei ruhiger Wetterlage mit verschiedenen Winden und beim Auftreten von Hochdruckgebieten auch gegen den Wind. Starke Winde bringen eine Anhäufung auf engem Raum, schwache Winde eine Ausbreitung über weite Ländergebiete mit sich, sodass die Zahl rastender Rotkehlchen an einem bestimmten Orte alsdann nur eine geringe ist.

10. Der Wanderflug vollzieht sich während der Nachtzeit, gelegentlich auch in den Mittagsstunden und dann namentlich bei steigendem oder hohem Luftdruck.

11. Überwinternde Rotkehlchen werden auch an der pommerschen Küste vereinzelt angetroffen. Sie zeichnen sich durch auffallende Zutraulichkeit aus und siedeln sich mit Vorliebe in der Nähe von Häusern und Baulichkeiten, die von Baum- und Strauchgärten umgeben sind, an. Sie beanspruchen ähnlich wie viele andere zutrauliche nordische Vogelarten in systematischer Hinsicht die Anerkennung als selbständige nordische Varietät und sind wegen ihres allgemeinen Vorkommens in Mittel-Europa nicht als freigelassene Käfigvögel aufzufassen.

II. Abschnitt.

## Lokalisation und Strichwanderung. Frühjahrs- und Herbstzug 1902—1904. Hemmung des Durchzuges. Zugrichtung.

Die im vorigen Abschnitt gewonnenen Schlussfolgerungen weichen in manchen Punkten von den allgemeinen Anschauungen über die Wanderungen europäischer Vögel, wie sie von den namhaftesten Beobachtern und Biologen vertreten werden, ab und es musste demnach angezeigt erscheinen, über die wichtigsten Ergebnisse weiteres Beobachtungsmaterial zu sammeln, namentlich erschien es besonders wichtig, die Lokalisation der Rotkehlchen, das heisst ihre sprungweise Anhäufung an allen geeigneten Örtlichkeiten grösserer Ländergebiete, welche auf dem Reisewege von Nord-Europa nach den Mittelmeerländern von ihnen berührt werden, wo Witterungsschutz, günstige klimatische Verhältnisse und hinlänglicher Vorrat an Futterstoffen zur Rast einladen, nachzuweisen, weil gerade diese Erscheinung den Anlass für die geographisch begrenzten, in bestimmtem, festliegendem Linienzuge fortführenden Wanderstrassen, die angeblich von den Vögeln genau gekannt und jahraus, jahrein entweder aus individueller Erfahrung oder aus ererbter Anlage eines ausgeprägten Ortssinnes bereist werden sollen, gegeben haben, während die im vorigen Abschnitt niedergelegten Schlussfolgerungen das Rotkehlchen ziellos über weite Länderstrecken wandern lassen, den von Norden und Osten her sich ungünstig verändernden klimatischen Verhältnissen ausweichend, bis zufällig jene geeigneten Örtlichkeiten erreicht werden, welche sie zur Rast einladen und die wegen ihrer allgemein ansprechenden Eigenschaften von den nachfolgenden Wandervögeln immer wieder angenommen werden. Nicht der wandernde Vogel wählt aus Erkenntnisfähigkeit und Erinnerungsvermögen, oder aus einem ererbten, instinktivem Triebe immer

wieder die feststehende Reiselinie, sondern die allgemeinen örtlichen Naturbedingungen: geeignete geographische und landschaftliche Lage, ausreichende Pflanzenvegetation, günstiges Klima und Vorrat an Insekten und Beeren ziehen den vorübereilenden Wanderer an und zwingen ihn, dem einschneidendsten biologischen Faktor, dem Erhaltungstriebe folgend, gerade hier Rast zu machen und immer wieder an diesen Örtlichkeiten zu erscheinen. Ein anderes wichtiges Ergebnis war der Nachweis einer durch Umschwung der Wetterlagen und der dadurch verursachten Witterungs-Änderungen herbeigeführten Strichwanderung der in einem grösseren Ländergebiete lokalisierten Rotkehlchen, wodurch die Wandervögel bald hierhin, bald dorthin verschlagen werden oder sich verfliegen konnten, sodass wahrscheinlich dieselben Vögel im Verlaufe einer Wanderperiode mehrmals an ein und derselben Örtlichkeit beobachtet werden. Lokalisation und Strichwanderung geht überdies aus den Literaturangaben verschiedener Beobachter hervor, so wandert nach A. Reichanow das Rotkehlchen im Frühling den Monat März hindurch, im Herbst im September und Oktober — nach R. Blasius in Braunschweig Ende Februar bis Mitte März und Mitte September bis Mitte November und nach Wüstnei und Klodus in Mecklenburg Mitte März und September bis Ende Novemcer. J. Schenk hat die Besiedelungsdauer für Ungarn auf 37 Tage angegeben, vom 25. Februar bis 2. April. So langdauernde Durchzugs-Perioden fordern direkt das langsame und sprungweise Vorrücken der Wanderer und das Umherstreichen in dem jeweiligen Durchzugsgebiet, denn es ist geradezu unmöglich, dass in Nord-Russland und Skandinavien soviel Rotkehlchen im Sommer vorhanden sind, dass ihr Herbstdurchzug durch Zentral- und West-Europa drei Monate in Anspruch nehmen müsste, und sich fast täglich Wanderscharen auf Wanderscharen auf dem direkten Wege vom Brutgebiet zur Winterherberge folgen.

Indessen müssen diese und ähnliche Fragen auch noch einer Prüfung hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Frühjahrswanderung des Rotkehlchens unterzogen werden. Auch für Stralsund besteht ähnlich wie in Ungarn ein etwa zwei Monate dauernder Frühjahrsdurchzug, wie die folgende Frequenzliste, die einem engbegrenzten Beobachtungsgebiet, dem Mönchenhof in Stralsund entlehnt ist, erkennen lässt. Die Frühjahrswanderung 1902 zeigte einen ähnlichen, aber doch abweichenden Verlauf wie die Herbstwanderungen

## Frequenzliste rastender Rotkehlchen. Stralsund.

| Datum | Frühling 1902 | | | | | | | | | Herbst 1902 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Februar | | | März | | | April | | | September | | | Oktober | | | November | | | Dezember | | |
| | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends | morgens | mittags | abends |
| 1. | — | — | — | — | — | — | 1 | 3 | 4 | | | | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| 2. | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 4 | | | | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — |
| 3. | — | — | — | — | — | — | 4 | 3 | 5 | | | | — | — | — | 4 | — | 3 | — | — | — |
| 4. | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | 3 | | | | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — |
| 5. | — | — | — | 3 | — | — | 9 | 4 | 6 | | | | — | — | — | 4 | 1 | 2 | 1 | — | 1 |
| 6. | — | — | — | 1 | — | — | 3 | — | 1 | | | | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7. | — | — | — | 2 | — | 2 | 1 | 2 | 3 | | | | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — |
| 8. | — | — | — | 1 | — | — | 2 | 1 | 7 | | | | 2 | — | — | 2 | — | 1 | — | — | 1 |
| 9. | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 5 | | | | 16 | 6 | 4 | — | 1 | — | — | — | — |
| 10. | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | | | | 6 | 3 | 2 | — | — | 6 | — | — | — |
| 11. | — | — | — | — | — | — | 3 | 2 | 4 | | | | 6 | 4 | 3 | 4 | — | 2 | — | — | — |
| 12. | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 3 | | | | 5 | 5 | — | — | 1 | — | — | — | — |
| 13. | — | — | — | — | — | — | 3 | 2 | 2 | | | | 3 | 2 | — | — | 1 | 1 | — | — | — |
| 14. | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | | | | 3 | — | — | 3 | 2 | 1 | — | — | — |
| 15. | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | | | | — | — | 2 | 1 | — | 1 | — | 2 | 2 |
| 16. | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | | | | 6 | 2 | 6 | — | — | — | — | — | — |
| 17. | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 2 | | | | 3 | 1 | 4 | — | — | 1 | — | — | — |
| 18. | — | — | — | — | 1 | — | 2 | — | 1 | | | | 3 | 2 | 4 | — | — | — | — | — | — |
| 19. | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 2 | — | — | 6 | 2 | 2 | — | — | — | 4 | — | — |
| 20. | — | — | — | 3 | — | 3 | — | — | 2 | — | — | 2 | 1 | — | — | — | — | 1 | 1 | 1 | — |
| 21. | — | — | — | 2 | — | 2 | — | — | 1 | 2 | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — |
| 22. | — | — | — | 2 | — | 3 | — | — | 2 | 1 | — | 2 | 7 | 2 | 2 | 2 | 6 | 1 | — | — | — |
| 23. | — | — | — | 10 | — | — | — | — | 1 | — | — | 1 | 2 | 2 | 2 | — | — | 1 | — | — | — |
| 24. | — | — | — | 6 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 25. | — | — | — | 4 | — | 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | 1 | — | — | — |
| 26. | — | — | — | 6 | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | 2 | — | 1 | 2 | 1 | — | — | — | — |
| 27. | — | — | — | 1 | — | 18 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 28. | 1 | — | — | — | 1 | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — | 1 | — | — | — |
| 29. | | | | 3 | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| 30. | | | | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 31. | | | | 1 | — | 4 | | | | | | | 2 | — | 4 | | | | — | — | — |

der Vorjahre, mit dem der Verlauf des Herbstzuges 1902 dagegen in vollem Einklang steht. Auf eine einleitende Zugperiode von fast 20 tägiger Dauer, in der nur hin und wieder einzelne Vögel und diese meist am frühen Morgen auftraten, folgte die Hauptwander-Periode von Monatsdauer, in welcher täglich und zu jeder Stunde Vögel angetroffen wurden und darauf die Schlussperiode von etwa 14 tägiger Dauer von Mitte bis Ende April, wo dagegen nur an einzelnen Tagen wenige Vögel, und diese stets in den späten Nachmittagsstunden vorhanden waren, während doch für die Herbstzüge neben der kurzen einleitenden Wanderperiode eine Hauptperiode und darauf zwei Perioden mit stufenweise abgeschwächter Frequenz und von verhältnismässig langer Dauer zu verzeichnen waren. Im Jahre 1893 traten bereits Ende Januar und Anfang Februar nach schweren Weststürmen Rotkehlchen bei Stralsund auf, die Anfangsperiode der Frühjahrswanderung reichte vom 18. Februar bis 10. März, die Hauptperiode vom 22. März bis 18. April und die Schlussperiode vom 20. April bis 5. Mai 1903. Im folgenden Jahre 1904 machte sich in Stralsund nur eine schwache Wanderung zur Frühjahrszeit bemerkbar: die Anfangsperiode währte vom 24. Februar bis 19. März, die Hauptperiode vom 31. März bis 18. April und die Schlussperiode bis zum 30. April 1904.

Die Anfangsperiode der Frühjahrswanderung 1902 setzte am 28. Februar ein und dauerte bis etwa Mitte März. Die Hauptwanderung begann am 18. März und endete, wie in den beiden folgenden Jahren am 18. April, die Zahl der rastenden Rotkehlchen war an einzelnen Tagen ganz erheblich gesteigert und verteilte sich auf alle Tagesstunden, wenngleich morgens und abends wesentlich mehr Vögel wie in den Mittagsstunden wahrgenommen wurden. Auffallende Anhäufungen erfolgten in den Tagen vom 23. bis 27. März, namentlich am 23., 24. und 26. morgens und am 27. März abends, zu einer Zeit, wo über die skandinavische Halbinsel und das Ostseebecken Cyklone, welche das baltische Meer durchquerten, wiederholt hinwegzogen. Dieselbe Ursache brachte demnach sowohl in der Herbst- wie in der Frühjahrszugzeit bedeutende Mengen rastender Rotkehlchen an die pommersche Küste, obgleich die Zugrichtungen doch im Frühling und Herbst gerade entgegengegengesetzt sind und stürmische Winde im Frühjahr 1902 nur vereinzelt auftraten, sodass die Rotkehlchen mühelos gegen den Wind nach Norden

oder Osten ziehen konnten. Es findet demnach auch im Frühling auf Grund des gleichmässigen Bestandes während der Hauptwanderperiode und dem Verhalten der Rotkehlchen barometrischen Tiefdruckgebieten gegenüber, eine Lokalisation der Wandervögel in Deutschland, Dänemark, Süd-Schweden und Norwegen, sowie Strichwanderung der langsam durchziehenden Vögel statt. Die Wetterlage war in jenen Märztagen etwa folgende: Ein ausgedehntes Tiefdruckgebiet hatte sich in den Tagen vom 17. März 1902 an, nördlich von Schottland gebildet, von dem sich eine Reihe kleiner Teildepressionen in der nördlichen Nordsee abzweigten, die, südöstlich fortwandernd, wiederholt die skandinavische Halbinsel und die Ostsee durchquerten. Unter dem Einfluss dieser Luftwirbel, welche meist nur schwache Winde an der vorpommerschen Küste hervorriefen, vollzogen sich jene Zuwanderungen und Rasterscheinungen. Besonders brachte der 27. März 1902 in den späten Nachmittags- und Abendstunden auffallend viele Rotkehlchen. Am Morgen lag eine ausgedehnte Depression über der mittleren Ostsee und am Nachmittag erfolgte ein lokaler Wetterumschlag winterlichen Charakters. Die nordwestlichen Winde drehten nachmittags gegen 5 Uhr auf West zurück, es erfolgten Niederschläge aus Graupeln, Regen und Schnee gemischt; dann ging der Wind um 5½ Uhr vollends auf Süd und brachte leichten Schneefall. Unter dem Einfluss dieses lokalen Wetterumschlages von nur kurzer Dauer erfolgte jene auffallende Unterbrechung des Wanderfluges, in der Tat eine ausgesprochene klimatische Hemmung des Frühjahrs-Durchzuges. In der nächsten Umgebung meiner Villa zählte ich allein zehn Rotkehlchen, lauter singende und andauernd lockende Exemplare. Offenbar mit dem Südwinde segelnd, gebot ihnen die plötzlich einfallende winterliche Witterung und der trennende Meeresarm ein Halt an der pommerschen Küste. Am Tage beherrschte neben einer breiten Windbahn vom Maximum über dem Biskayischen Meerbusen her, eine zwete von Norwegen kommende, die westliche Ostsee. Würden die Rotkehlchen unter solchen Verhältnissen (Tiefdruckgebiete über der Ostsee) gegen den Wind wandern, so stand ihnen die bequemste Gelegenheit offen, an dem Tage vorher die deutschen Küstenländer zu verlassen und nach Schweden-Norwegen überzusetzen; sie blieben aber in unseren Küstenländern zurück und wanderten nicht gegen den günstigen Wind, sondern sie folgten offenbar

den von den Küsten des Ozeans herkommenden, linden Luftströmungen, deren Ausläufer teilweise schon am Morgen nach Norden (Südwind) ausbogen, hier und da (Hamburg) am Tage mit Südwinden Schneefall bringend. Als am nächsten Morgen die Depression von der Ostse verschwunden und normales Frühlingswetter eingetreten war, hatten sich auch die rastenden Vögel wieder verflogen. Nicht minder spricht gegen die von verschiedenen Ornithologen vertretene Ansicht, dass die Zugvögel stets gegen den Wind wandern, der Umstand, dass sie plötzlich in so grosser Zahl an der pommerschen Küste landeten und nicht, wie bei den gelegentlich eintretenden Frühjahrs-Rückzügen mancher Wandervögel, auf der vorgelagerten Insel Rügen verblieben. Sie hätten doch gegen den Wind und gegen die normale Frühjahrszugrichtung von Norden kommend, durch die winterlich einfallende Witterung zurückgedrängt, auf dem umfangreichen Eilande Rügen verbleiben müssen, denn der trennende Meeresarm bildet, wie aus nachfolgenden Untersuchungen hervorgehen wird, ein gewisses Hindernis und verlangsamt den Rotkehlchen-Durchzug.

Auch die Massenzuwanderung am 23. März 1902 morgens, war neben dem entscheidenden Einfluss der barometrischen Teildepression über Schweden und der Ostsee, welche Westwinde über England, Frankreich und Deutschland hervorrief, von lokalen meteorologischen Erscheinungen begünstigt. Morgens bei 5° C. schwacher Ostwind und Nebel, Witterungsverhältnisse, die im zeitigen Frühjahr hier in Neuvorpommern oft die Feldlerchen in grosser Zahl rasten, selbst zurückziehen lassen. Auch diese Betrachtungen führen zu der Erkenntnis, dass erstens im Frühling, ebensowohl wie im Herbst, eine Lokalisation rastender Rotkehlchen über weite Ländergebiete stattfindet, die unter der Einwirkung barometrischer Minima, welche die Ostsee durchqueren, in Strichbewegung geraten und durch lokale Wettererscheinungen winterlichen Charakters auffallende Hemmungen des Frühjahrs-Durchzuges zeigen können und dass zweitens die Rotkehlchen alsdann mit den West- oder Südwinden wandern, welche die Frühjahrs-Erwärmung an der Ostseeküste begünstigen.

Auch im Frühling 1903 traten ähnliche Erscheinungen unter Einwirkung bestimmter meteorologischer Ursachen ein. Zunächst überraschte Ende Januar und Anfang Februar die Einkehr vorzeitiger Wanderer (Feld-

lerchen, Staare und Rotkehlchen). In jener Zeit lag ein grosses Tiefdruckgebiet mit 730—740 mm über Mittel-Skandinavien, dem finnischen Meerbusen und über Finnland, welches umfangreiche Luftwirbel mit sich wiederholenden stürmischen Westwinden über der Ostsee hervorrief. Dann trat am 30. März bis 1. April 1903 eine auffallend starke Zuwanderung und Rasterscheinung ein. Teildepressionen und barometrische Minima riefen über dem baltischen Meere und seinen Küstenländern ausgeprägte Luftwirbel und einen völligen Wetterumschlag hervor. Bis zu diesem Zeitpunkte hatten warme, äquatoriale Luftströmungen nur wenig Rotkehlchen rasten lassen, als nun aber jene Tiefdruckgebiete heftige Winde aus Westen und Nordwesten und gleichzeitig Abkühlung hervorriefen, traten an allen geeigneten Ortlichkeiten Rotkehlchen rastend auf, welche längere Zeit verweilten, meist an dieselbe Örtlichkeit zurückkehrten und sich durch schönen und lauten Frühlingsgesang auszeichneten. Noch auffallendere Tatsachen zeitigte der 17. April 1903. Ein ansehnliches Minimum beherrschte Mittel-Schweden und einen Teil der Ostsee und verursachte einen umfangreichen Luftwirbel und einen hochgradigen Temperatursturz, der zu Nachtfrösten und Schneefällen an verschiedenen Orten Veranlassung gab; die Wetterstation auf dem Brocken meldete 1,5 m Schneehöhe, in Frankreich herrschte Frost. Von früh morgens an bis in den Nachmittag hinein waren überall singende und lockende Rotkehlchen in grosser Zahl anzutreffen, gegen 5 Uhr nachmittags erfolgte Weiterreise bis auf wenige Exemplare, am nächsten Vormittag erfolgte eine abermalige Zunahme. Als nachmittags die ersten Rotkehlchen am 17. April 1903 weiter gezogen waren, trat Graupel-, Regen- und Schneefall ein und gleich darauf erschienen ungezählte Wanderscharen von Weindrosseln, untermischt mit umfangreichen Staargesellschaften. Sie schienen durch ihren fürchterlichen Lärm die letzten Rotkehlchen aus dem niedrigen Buschwerk zu vertreiben.

Im Frühling 1904 waren hingegen nur schwache Wanderungen und wenig auffallende Rasterscheinungen zu verzeichnen. Eigentlich können nur zwei Tage, der 8. und 12. April 1904 in Betracht kommen, an denen eine merkliche Zunahme an Rotkehlchen eintrat. Am 7. April 1904 begann sich über Mittel-Schweden und die mittlere Ostsee eine Teildepression abzuschnüren, woraus sich am nächsten Tage morgens ein abgerundetes Mini-

mum mit Wirbelwinden über der Ostsee herausgebildet hatte (vgl. Tab. XXI, Fig. 22—23). Am 11. April 1904 entstand bei Stockholm ein Minimum mit 743 mm Druck, welches quer über die Ostsee nach dem Bottnischen Meerbusen und Finnland wanderte. Die auffallendsten Rasterscheinungen im Frühling 1904 wurden demnach auch von barometrischen Tiefdruckgebieten, welche die Ostsee durchquerten und Wirbelwinde erzeugten, hervorgerufen. Im Frühling bringen die Cyklone, welche die Ostsee durchqueren, beim Herannahen mit südwestlichen und westlichen Winden milde, ozeanische Luft und Erwärmung an die Ostseeküste, wodurch die normale Frühjahrswanderung der Rotkehlchen begünstigt wird — beim Durchqueren der Ostsee und nach Eintritt nordwestlicher und nördlicher Winde erfolgt Abkühlung und Rast der Wandervögel.

Die Lokalisation, also Unterbrechung des Wanderfluges und andauernde Rast in grösseren, dem Rotkehlchen zusagenden Ländergebieten, geht ausserdem aus folgenden Beobachtungen hervor. Beim Eintritt der Frühjahrs-Hauptwanderung, Ende März 1902 beobachtete ich wiederholt, dass die Rotkehlchen nicht am Abend fortwanderten, sondern die Nacht an geschützten Örtlichkeiten verbrachten. Von jener Zeit an bis zum 8. April 1902 sah ich fast jeden Abend ein Männchen einen bestimmten Schlafplatz aufsuchen und dort nächtigen. Bei Eintritt tieferer Dämmerung stieg es laut singend allmählich bis zur mittleren Höhe grösserer Obstbäume empor, flog von dort auf einen stärkeren Ast eines Birnbaumes, an den lange Fichtenstangen angelehnt waren und sich dicht an den Stamm anschmiegend, verbrachte es dort eine ganze Reihe von Nächten, bis es am 8. April verschwunden war. In demselben Zeitraum beobachtete ich ein jüngeres Männchen oder ein Weibchen hinter dem schützenden Bretterzaun meines Gartens in dichtem, niedrigem Strauchwerk und daneben einen zweiten Vogel gleicher Gefiederfärbung bei meinem Geflügelstall Unterschlupf und Schlafplatz aufsuchen. Auch das Verweilen rastender Rotkehlchen zu jeder Tageszeit während der Frühjahrs-Hauptwanderung beweist, dass sie in unserem Landesteil längeren Aufenthalt nehmen und ihre schwankende Zahl, dass sie hin und herstreichen. Jedenfalls ist jene Auffassung, wonach manche insektenfressende Singvögel von ihrer Winterherberge in einer einzigen Nacht zum Brutgebiet und zur Brutstätte wandern, für das Rotkehlchen unhaltbar.

Ähnliches geht auch aus den Beobachtungen während der Frühjahrswanderung 1903 hervor. Während die Vögel, welche den Frühjahrszug einleiten, laut singende Männchen, Wipfelsänger sind, welche sich nur kurze Zeit aufhalten und sehr bald in die Wipfel der Bäume emporsteigen, um weiter zu reisen, hielten sich die zahlreichen, laut singenden Männchen während der Haupt-Wanderperiode meist stets an ein und derselben Örtlichkeit auf. Der 24. April 1903 brachte hierin Wandel, von diesem Tage an hörte man mit wenigen Ausnahmen nur lockende oder leise singende Vögel, welche ihren Standort häufig änderten. Im Frühling 1904 zeigte sich ein prächtiges Männchen mit sehr lautem, melodischem Gesang andauernd vom 31. März bis zum 12. April an ein und derselben Örtlichkeit, in einer Hasellaube meines Gartens. Der 13. April 1904 brachte gleichmässig sich abstufenden Luftdruck über Europa bei parallel verlaufenden Isobaren und löschte die Rasterscheinungen der Rotkehlchen vollkommen aus.

Es erübrigt noch, der abschliessenden Periode der Frühjahrs-Wanderungen mit kurzen Worten zu gedenken. Im Jahre 1902 vollzog sich diese Erscheinung in wenigen Tagen, vom 20.—29. April, 1903 währte sie etwas länger, vom 20. April bis 5. Mai und 1904 wurde sie in ausserordentlich schwachem Umfange in den letzten Tagen des Monats April festgestellt, schon vom 2. Mai 1904 an konnte nur noch dauernde Besiedelung mit sesshaften Brutvögeln verzeichnet werden. Am Schluss des Frühjahrsdurchzuges wurden bei Stralsund Rotkehlchen nur noch vereinzelt und fast ausnahmslos nur in den Abendstunden wahrgenommen. Hinsichtlich der Tageszeit, welche zur Rast gewählt wird, besteht demnach ein direkter Gegensatz zu den Rasterscheinungen bei Beginn der Frühjahrswanderung, die damals beobachteten Vögel waren meist laut singende Männchen, während am Schluss nur lockende Vögel, wahrscheinlich also Weibchen, Brutvögel der pommerschen Heimat und nördlicher Gegenden, angetroffen wurden, deren Erscheinen in Kürze Paarung und Nestbau veranlasst.

Um für die Herbstwanderungen die Frage der Lokalisation und der Strichwanderung noch sicherer zu entscheiden, richtete ich für Oktober 1902 eine von Ost nach West fortlaufende Beobachtungskette mit fünf Stationen ein, deren Entfernung in Luftlinie gemessen, etwa 70 km betrug: Thiessow, eine weit in die Ostsee hineinragende, fast isolierte Lehmklippe, die mit der

Halbinsel Mönchgut nur durch eine flache, baumlose, mit Grasnarbe überzogene und mehrere Stunden lange Landbrücke verbunden und durch einen älteren Bestand an Laubholz, durch junge Nadelholz-Schonungen und durch Garten-Anlagen für den Aufenthalt von Rotkehlchen geeignet ist — den Krähenberg bei Gustow a. R., eine kleine bewaldete Anhöhe an der sonst waldarmen Südküste Rügens — Stralsund — den Forstbezirk Elmenhorst, das östlich vorgeschobene Waldgebiet der Oberförsterei Abshagen und den Forstbezirk Schlemmin, westlich von Stralsund, wenige Stunden von der mecklenburgischen Grenze entfernt. Die Beobachtungszeit fiel in die Hauptperiode des Herbstzuges und reichte vom 28. September bis zum 13. Oktober 1902. Auf den kleinen Beobachtungsstationen Thiessow, Gustow und Stralsund konnte täglich bei jedem Rundgange die Zahl der rastenden Rotkehlchen in den frühen Morgenstunden, mittags und in den späten Nachmittagsstunden festgestellt und daraus ein direkter Massstab für die Frequenz, in Anlehnung an die Wanderkarten, abgeleitet werden, während in den beiden ausgedehnten Forstrevieren Elmenhorst und Schlemmin nur ein allgemeines und relatives Urteil über die Häufigkeit wandernder Rotkehlchen gewonnen werden konnte. Die Resultate sind in der anliegenden Abbildung (vgl. Tab. XXII Fig. 24) durch Frequenz-Kurven vergleichend zusammengestellt und gewähren manchen interessanten Einblick in die Wanderungserscheinungen des Herbstes 1902. Der Kurvenverlauf zeigt täglich die relative Menge der rastenden Rotkehlchen, morgens, mittags und abends; die Höhe der Kurven entspricht den bereits im Anfange benutzten Bezeichnungen für den Grad der Häufigkeit: wenige oder vereinzelte Vögel, ausgebreiteter Bestand, zahlreiche und sehr viele Vögel. Bei Kurven-Unterbrechungen liegt keine Beobachtung vor.

Zunächst ist aus jener Abbildung erkenntlich, dass der die Insel Rügen vom pommerschen Festlande trennende Meeresarm ein tatsächliches Hindernis für den Durchzug der Rotkehlchen nach Pommern hinein bildet. Auf Rügen, in Thiessow und Gustow, rasteten bereits vom 28. September bis 8. Oktober 1902 Rotkehlchen in grösserer Zahl, während in Stralsund, wo der beginnende Herbstzug sich schon vom 19.—22. September 1902 bemerkbar gemacht hatte, in jenen Tagen Rotkehlchen überhaupt nur spärlich beobachtet wurden und sich in den beiden grösseren pommerschen Forstrevieren nur hin und wieder

eine Verstärkung des vorhandenen Sommerbestandes geltend machte. Weiterhin trat für Thiessow und Gustow eine Verschiebung und Auswechselung, also Strichwanderung der auf Rügen rastenden Rotkehlchen ein: am 29. September 1902 Abnahme in Thiessow und Zunahme in Gustow, am 30. September umgekehrt, ein ähnliches Verhältnis bestand vom 3.—5. Oktober, dagegen am 6. Oktober viele Vögel in Thiessow, und Armut an Rotkehlchen in Gustow, tags darauf wieder das entgegengesetzte Verhältnis. Diese Tatsachen berechtigen zu der Annahme, dass die Rotkehlchen im Herbst ursprünglich aus nördlichen oder östlichen Gegenden zu uns wandern, dass sie zum Teil auf der Insel Rügen Rast machen, dass sie während der Rast in jenem abgegrenzten Insellande hin und her streichen und dass der trennende Meeresarm ihre Einwanderung nach Pommern hinein hemmt und verzögert.

Ausserdem machten sich in Thiessow und in Elmenhorst interessante örtliche Veränderungen in den Aufenthaltsstellen der Rotkehlchen unter dem Einfluss unfreundlicher Witterungserscheinungen geltend. Auf der erstgenannten Station verschwanden die Rotkehlchen stets bei einfallendem, dichten Seenebel aus dem bewaldeten Hochlande und gingen in die angrenzende Dorfniederung, um in den Heckenpflanzungen der Gärten Aufenthalt zu nehmen — in Elmenhorst verliessen die Rotkehlchen bei stürmischen, rauhen Ostwinden den an der Ostseite des Forstreviers belegenen, sonst mit Vorliebe aufgesuchten, lichten Bruchwald und zogen sich in den geschützten Südteil des Waldes zusammen.

Vom 9.—12. Oktober 1902 wurde in Gustow, Stralsund, Elmenhorst und Schlemmin übereinstimmend der stärkste Rotkehlchenbestand beobachtet, während in der weit ostwärts in die freie See hinein vorgeschoben und isoliert gelegenen Station Thiessow gerade Abnahme an Rotkehlchen gegenüber der Frequenz in den ersten acht Tagen des Monats Oktober festgestellt werden konnte. Jener 9. Oktober 1902 war der einzige Tag in der Beobachtungsperiode, wo an allen Stationen, Thiessow ausgenommen, eine auffallend starke Zuwanderung gleichzeitig wahrgenommen wurde und die sich folgerichtig aus der Einwirkung meteorologischer Erscheinungen erklären lässt. An jenem Tage lag morgens früh ein Hochdruckgebiet mit 767 mm über Schweden, wodurch über der Ostsee auffrischende nordöstliche

Winde fortzogen. Tags zuvor, am 8. Oktober 1902 wehten unter dem Einfluss eines mitteleuropäischen Hochdruckgebietes und einer Depression über Finnland in Neuvorpommern und Rügen zunächst südwestliche, sehr schwache Winde, welche durch Ausbildung des Hochdruckgebietes über Schweden im Laufe des Tages rechtsdrehend in nördliche und am 9. Oktober 1902 in nordöstliche Winde übergingen. Die Richturg der Winde allein ist demnach nicht Ursache von freier Wanderung oder örtlicher Rast: würden Nordostwinde allgemein im Herbst an der Küste Neuvorpommerns Rotkehlchen rasten lassen, so hätte dies bereits in den Tagen vom 28. September bis 1. Oktober 1902 erfolgen müssen, damals lag ein ausgebreitetes Hochdruckgebiet weit hinausgeschoben über dem nordatlantischen Ozean, welche gelegentlich über England eine Anticyklone entwickelte. Erst der 9. Oktober 1902 brachte durch Ausbildung eines Hochdruckgebietes über Nord-Europa, über Schweden, die Rotkehlchen in grösserer Zahl an unsere Küste. Man wird in diesem prägnanten Falle zunächst die beiden möglichen Annahmen berücksichtigen müssen: Erstens, angenommen, das Hochdruckgebiet über Nord-Europa zur Herbstzeit lässt die Rotkehlchen nicht mit, sondern gegen den Wind wandern und dadurch werden die hiesigen Küstengebiete mit Vögeln aus dem Binnenlande vorübergehend besetzt. So wäre der Fortgang der Rotkehlchen aus Thiessow am 8. Oktober 1902 zu erklären, welche der Mönchguter Landbrücke folgend, die Insel Rügen selbst besiedelten. Eine erneute Zuwanderung vom pommerschen Festlande her mag aus gleichem Anlass wenigstens für die hellen Tagesstunden durch die viele Meilen breite Ostsee verhindert worden sein. Andererseits könnten die Rotkehlchen, einer viel verbreiteten Annahme entsprechend, mit dem Winde wandern. Es bringen Hochdruckgebiete zur Herbstzeit über Nord-Europa, mit nördlichen oder östlichen Winden Abkühlung und unfreundliche Witterung, welche die Rotkehlchen nach Süden oder Westen über die Ostsee hinweg nach Pommern hinein fortdrängen würden. Thiessow blieb bei diesen nächtlichen Wanderflügen ohne Besiedelung. Für diese zweite Beurteilung der Sachlage spricht zudem der Umstand, dass auf der Greifswalder Oie, einer kleinen Insel in der Nähe von Thiessow niemals am Tage, sondern nur während des nächtlichen Anfluges Rotkehlchen beobachtet werden (R. Blasius: Vogelleben an den deutschen Leuchttürmen).

Im übrigen lieferte die Hauptperiode der Herbstwanderung 1902 nicht allzu reichliches Beobachtungsmaterial. Der Zuzug von Rotkehlchen war nicht besonders stark, wofür ungünstige Witterung im September: kühles Wetter und viele Tage mit stürmischen Winden, sowie die Ungunst des Sommers 1902, wodurch die Hollunderbeeren verspätet reiften, sodass der sonst so auffallende Durchzug des Schwarzplättchens bereits im September fast ganz unterblieben war — die Ursache abgegeben haben dürften. In Stralsund setzte der Herbstzug sehr schwach am 19. September 1902 morgens ein und verlor sich wieder am 23. September abends, verursacht durch ein ausgedehntes Hochdruckgebiet über Nord- und Mittel-Europa, welches in jenen Tagen die Wetterlage Mittel-Europas ausmachte, um dann erst vom 5. Oktober ab, andauernde und sich verstärkende Rasterscheinungen zu zeitigen. Barometrische Depressionen, die skandinavische Halbinsel und die Ostsee durchquerend, blieben in der ersten Oktoberhälfte 1902 ganz aus und mit ihnen das Phänomen massenhafter Zuwanderung und vorübergehender Rast auffallend zahlreicher Rotkehlchen. In der Zeit vom 14. Oktober 1902 morgens bis zum nächsten Tage abends wurden in Stralsund überhaupt keine Rotkehlchen angetroffen, gleichmässige Verteilung des Luftdruckes über Europa mit ziemlich parallel verlaufenden Isobaren liessen bei vorwiegend südwestlicher Luftströmung über Zentral-Europa die rastenden Rotkehlchen verschwinden und die wandernden über uns fortziehen. Eine über dem Nordatlantik liegende Depression von 750 mm streckte am 14. Oktober 1902 einen Ausläufer über Mittel-Schweden und schnürte am 15. Oktober ein Minimum über der mittleren Ostsee ab, welches vorübergehend einen Wirbelsturm begrenzten Umfanges hervorrief und die südwestlichen Winde rechtsdrehend machte. Am 15. Oktober 1902 spät abends begann die Zuwanderung von neuem und am 16. Oktober vormittags waren reichlich Rotkehlchen vorhanden, welche sich in den folgenden Tagen erheblich verminderten. Eine verstärkte Rasterscheinung trat am 22. Oktober 1902 mittags ein, nachdem stürmische südwestliche Winde tags zuvor unter der Einwirkung einer barometrischen Teildepression über Jütland, welche als Minimum ostwärts fortwandernd, Süd-Schweden und die mittlere Ostsee durchquerte, rechtsdrehend wurden und abflauten. Am 24. und 25. Oktober 1902 verschwanden die Rotkehlchen: gleichmässiger Luftdruck bei parallelen

Isobaren liess sie vorüber wandern. Die verstärkte Rasterscheinung am 5. November 1902 erklärt sich aus dem Auftreten einer kleinen Anticyklone an der Westküste Norwegens, wodurch westliche Winde am 4. November abends abflauten und rechtsdrehend in Ostwind übergingen. Ostwärts wandernd rief diese Anticyklone starke bis stürmische Ostwinde hervor, während gleichzeitig über Zentral-Europa gleichmässig abgestufter Luftdruck bei parallelen Isobaren zur Ausbildung gelangte und mit dieser Erscheinung verschwanden die Rotkehlchen wieder am 6. und 7. November 1902. Die lebhaften Zuwanderungen und Rasterscheinungen am 10., 11. und 14. November 1902 erfolgten zu einer Zeit, wo ein umfangreiches Hochdruckgebiet Ost-Europa beherrschte und dichte Nebel- und Dunsterscheinungen über der westlichen Ostsee lagerten. Diese Vögel wanderten unbedingt gegen den Wind, denn im November herrscht in Russland bereits ein so winterliches Klima, dass ein dauernder Aufenthalt zahlreicher Rotkehlchen in Ost-Europa und eine Zuwanderung von dorther mit dem Winde unmöglich sind. Dann wiederholte sich am 22. November 1902 der Einfluss, den der Mittelpunkt eines abgerundeten Hochdruckgebietes, die Anticyklone bereits im Herbst 1901 verschiedene Male hervorgerufen hatte, eine flüchtige Rast von kurzer Dauer mit unruhigen, reiselustigen Rotkehlchen. Auf verhältnissmässig engem Raum fand ich gegen Mittag sechs Rotkehlchen, welche unruhig aus dem Strauchwerk der Anlagen zu den Wipfeln höherer Bäume aufstiegen und sich zur Weiterreise anschickten. In den ersten Nachmittagsstunden waren Rotkehlchen nirgends mehr aufzufinden.

Da das kleine Netz von Beobachtungsstationen im Herbst 1902 neben sicheren Aufschlüssen über Zuwanderung und Rast auf Grund meteorologischer Einflüsse, gewisse Anhaltspunkte für das langsame Vorrücken rastender Rotkehlchen, sei es von Nord nach Süd, oder von Ost nach West, für die Hemmung dieser Bewegung durch grössere Wassermassen, durch Ostsee und Gellen und für das zigeunerartige Umherstreifen der rastenden Rotkehlchen von Bezirk zu Bezirk gewährt hatte, organisierte ich im Herbst 1903 ein weiter ausgreifendes Beobachtungsnetz, um diese Ergebnisse einer Nachprüfung zu unterziehen. Die Stationen für Herbst 1903 wurden nach Möglichkeit so gewählt, dass sie auf einem Kreuz, dessen Schnittpunkt in Stralsund war, verteilt lagen, der eine Arm im allgemeinen die Richtung

Nord-Süd verfolgend, umfasste die Stationen Altenkirchen auf Wittow, Försterei Gelm auf der Schabe, einer schmalen, mit Nadelwald bestandenen Landbrücke zwischen Wittow und Jasmund, die Südspitze der Stubnitz bei Sassnitz, den Raddas bei Bergen, Stadt Bergen a. R., Tribbevitz und in Pommern Elmenhorst, Grimmen, Triebsees, Poggendorf bei Loitz, Wilmshagen bei Greifswald und Wolgast. Der zweite Arm verlief ziemlich regelrecht Ost-West und enthielt Stationen in Thiessow, Losentitz auf dem Zudar, einem nach Südost vorgeschobenen Teil Rügens, vom Gellen und dem Greifswalder Bodden umspült, auf dem Krähenberg bei Gustow und auf dem pommerschen Festlande in Zimckendorf bei Stralsund, in Velgast, Schlemmin, sowie in Willershagen, einem Waldgebiet unweit Gelbensande in Mecklenburg. Dazu kamen noch Bessin, auf einer Südwest-Spitze Rügens, in den Kubitzer Bodden hineinragend und Prerow an der Ostsee. Der jeweilige Bestand an rastenden Rotkehlchen wurde ebenfalls wieder morgens, mittags und abends festgestellt und ist ziffernmässig in die folgenden Tabellen eingetragen. Aus diesem Zahlenmaterial ist sowohl für die Nord-Südlinie wie auch für die Ost-Westlinie die Summe der beobachteten Vögel für die Morgen-, Mittags- und Abendstunden jedes einzelnen Tages, sowie der Gesamtbetrag an Vögeln für den ganzen Tag berechnet. Hin und wieder ist ein Beobachtungstag ausgefallen. Zahlenwerte von Belang sind stark gedruckt.

Auch diese Beobachtungsreihe beweist die Abhängigkeit der Rotkehlchen-Zuwanderung von meteorologischen Ursachen, namentlich durch die Tagesziffern, unter dem merkwürdigen Umstande, dass die Zunahme auf der Ost-Westlinie fast einen Tag später eintritt und länger anhält, wie auf der Nord-Südlinie. Das Minimum von 740 mm, welches am 3. Oktober 1903 morgens über Süd-Schweden lag, brachte auf der Nord-Südlinie an demselben Tage 93 Wandervögel, an den beiden folgenden Tagen auf der Ost-Westlinie 133 und 156 Stück. Die Depression, welche am 6. Oktober 1903 von Skudesnäs sich vorschob und am 7. Oktober ein Minimum von 740 mm über Süd-Schweden, am 8. Oktober ein solches von 755 mm über der Riga-Bucht erzeugte, brachte am 7. Oktober 1903 für Nord-Süd 85 und am 8. Oktober für Ost-West 120 Rotkehlchen und das dritte Minimum von 740 mm, welches am 10. Oktober 1903 von Schleswig bis Posen reichte,

## Frequenzlisten rastender Rotkehlchen. Herbst 1903.

### 1. Nord-Südlinie.

| Tag | 1. Okt. | | | 2. Okt. | | | 3. Okt. | | | 4. Okt. | | | 5. Okt. | | | 6. Okt. | | | 7. Okt. | | | 8. Okt. | | | 9. Okt. | | | 10. Okt. | | | 11. Okt. | | | 12. Okt. | | | 13. Okt. | | | 14. Okt. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wetterlage | | | | | | | Min. 740 Süd-Schwed. | | | | | | | | | Min. 740 Skudesnäs | | | Min. 740 Süd-Schwed. | | | Min. 755 Riga | | | | | | Min. 740 Schlesw. bis Posen | | | | | | Gleichmässiger Luftdruck | | | | | | | | |
| Altenkirchen . | 1 | — | — | 3 | — | 1 | 2 | **3** | — | 1 | — | — | — | — | 2 | **5** | — | 1 | 2 | — | — | — | — | **6** | **5** | 2 | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | |
| Gelm . . . . | 2 | — | — | 6 | 1 | — | **20** | — | **6** | **12** | — | — | 20 | — | 4 | **15** | — | 8 | 6 | 1 | 5 | 8 | — | **2** | **10** | — | — | 2 | — | 1 | 2 | — | — | | | | | | | | | |
| Stubnitz . . | — | — | — | 2 | — | 1 | — | — | 2 | 1 | 8 | — | 3 | 6 | — | 2 | — | 1 | **8** | 3 | — | 4 | — | — | 1 | — | **11** | — | 1 | 2 | 2 | — | — | 3 | — | 6 | | | | | | |
| Sassnitz . . . | 1 | — | 4 | — | 2 | 2 | — | 2 | 3 | — | 1 | — | — | 2 | — | 1 | — | — | 1 | 2 | 4 | — | 2 | 3 | — | — | — | 1 | 2 | 5 | — | 2 | 3 | — | 1 | 2 | — | 1 | 3 | | | |
| Raddas . . . | 6 | — | — | 6 | — | 1 | 4 | 1 | — | 5 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — |
| Bergen . . . | 5 | 1 | — | 7 | — | — | — | 2 | — | — | 3 | — | — | — | 1 | — | — | — | 4 | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Tribbevitz . . | — | 2 | 2 | 1 | — | 3 | — | **4** | — | — | — | — | — | 1 | — | 3 | 4 | — | — | 1 | 2 | — | 4 | 1 | — | 1 | — | 3 | — | 2 | — | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| Elmenhorst . | 5 | — | 4 | 3 | 4 | 2 | — | 3 | 5 | **10** | **5** | **7** | 3 | 2 | 4 | **6** | **3** | **6** | **4** | 2 | 2 | 4 | 5 | — | — | 3 | **10** | **11** | **16** | **11** | 7 | 9 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | **7** |
| Grimmen . . | 4 | 3 | 3 | 6 | — | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | — | — | — | — | 3 | 4 | 2 | **5** | 3 | — | — | — | — | 3 | 2 | — | 4 | 3 | **5** | 4 | 2 | — | 2 | 4 | — | 3 | | | | | | |
| Triebsees . . | — | 3 | — | — | — | — | **12** | — | — | 4 | — | — | 8 | — | — | — | — | — | — | **15** | — | — | 1 | — | 7 | — | — | — | — | — | — | — | — | 5 | — | — | — | 8 | — | | | |
| Poggendorf . | 2 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 | — | 4 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — |
| Wilmshagen . | 2 | — | — | 1 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 5 | 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — |
| Wolgast . . | 3 | 5 | 2 | 7 | 2 | 5 | 6 | 4 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | — | 4 | 4 | 4 | 7 | 7 | 8 | 6 | 3 | 2 | — | — | 1 | — | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | — | 1 |
| | 31 | 14 | 15 | 42 | 10 | 17 | 49 | 21 | 23 | 40 | 24 | 10 | 37 | 15 | 18 | 38 | 13 | 25 | 35 | 26 | 24 | 25 | 16 | 19 | 32 | 13 | 35 | 26 | 27 | 32 | 15 | 14 | 13 | 18 | 11 | 24 | 5 | 15 | 12 | | | |
| | 60 | | | 69 | | | **93** | | | 74 | | | 70 | | | 76 | | | **85** | | | 60 | | | 80 | | | **85** | | | 42 | | | 53 | | | (32) | | | | | |

### 2. Ost-Westlinie.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thiessow . . | 3 | 6 | 2 | 11 | 4 | 9 | 5 | 5 | 7 | **12** | **10** | **11** | **18** | **13** | **11** | 10 | 9 | 5 | 5 | 7 | 7 | **11** | **29** | **15** | 8 | 11 | 7 | **12** | **10** | **16** | 7 | 8 | 3 | 5 | 7 | 4 | | | | | | |
| Losentitz . . | 6 | — | 4 | 3 | — | — | 5 | 5 | 2 | **7** | **4** | **8** | — | 6 | 4 | 5 | 4 | 3 | — | — | — | | | | | | | 4 | **10** | 7 | 7 | 9 | **12** | **15** | **10** | **10** | **12** | **10** | 5 | **13** | **12** | | |
| Gustow . . . | 6 | 8 | 10 | — | — | 3 | — | 1 | — | — | — | **7** | 2 | — | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 10 | — | 1 | 1 | 1 | 7 | 5 | **15** | **3** | **15** | — | 1 | 3 | 3 | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Zimckendorf . | — | 2 | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | 1 | — | — | 2 | — | 1 | — | — | 3 | — | — | 1 |
| Velgast . . . | 2 | 4 | 2 | — | 5 | — | 1 | 1 | 1 | **6** | **5** | **4** | **8** | 3 | 1 | 2 | 2 | — | — | — | 2 | — | 2 | 2 | — | — | 2 | — | — | — | 4 | 4 | — | — | — | — | — | — | | | | |
| Schlemmin . . | 1 | 2 | — | 1 | — | — | — | — | 2 | **12** | **10** | **7** | **16** | **9** | 6 | 10 | 8 | 3 | 8 | 4 | 4 | 9 | 6 | 7 | 6 | 3 | — | 7 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | — | 3 | 3 | | |
| Willershagen . | 3 | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | | | | **15** | **6** | **15** | **10** | 3 | 6 | 1 | — | 4 | 7 | 4 | **13** | 2 | — | — | **15** | **7** | **14** | **17** | **11** | **28** | 2 | 7 | — | — | — | 5 | 3 | 7 | 15 |
| Bessin . . . | 10 | 6 | 8 | — | 2 | — | — | 5 | 3 | — | 4 | **11** | **6** | — | — | 3 | — | 4 | — | 6 | 3 | 2 | — | 6 | — | 7 | — | — | 4 | **6** | 3 | 2 | 4 | **8** | **6** | **5** | — | 4 | **7** | | | |
| Prerow . . . | | | | | | | | | | 3 | **5** | 4 | 4 | 7 | 3 | | | | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | — | 4 | 3 | 1 | **3** | **5** | 2 | 4 | 2 | 3 | — | — | — | | | | | | |
| | 31 | 28 | 26 | 16 | 11 | 13 | 11 | 18 | 15 | 40 | 38 | 55 | 69 | 44 | 43 | 41 | 27 | 23 | 19 | 29 | 21 | 33 | 43 | 44 | 29 | 29 | 27 | 44 | 55 | 48 | 50 | 41 | 55 | 37 | 32 | 23 | 14 | 14 | 25 | | | |
| | 85 | | | 40 | | | 44 | | | **133** | | | **156** | | | 91 | | | 69 | | | **120** | | | 85 | | | **147** | | | **146** | | | 92 | | | (53) | | | | | |

brachte an demselben Tage für Nord-Süd 85, am 10. und 11. Oktober für Ost-West 147 und 146 Vögel. Als sich dann nach diesen Oktoberstürmen das Luftmeer beruhigte und am 12. Oktober 1903 bei parallelen Isobaren gleichmässig abgestufter Luftdruck eintrat, nahm die Zahl der Rotkehlchen, welche nun durch nächtlichen Wanderflug fortzuziehen begannen, merklich ab.

Die Schwankungen in der Tagesfrequenz erweisen sich als ganz beträchtliche. Wiederum besteht ein Gegensatz zwischen Nord-Südlinie, wo die mittlere Tagesfrequenz 70 Wandervögel ergibt, mit einem Höchstbetrag von 93 und einem Niedrigstbetrag von 42 Vögeln und der Ost-Westlinie, welche viel erheblichere Unterschiede aufzuweisen hat, dort ergibt sich ein Mittelwert von 100 Wandervögeln, während der Höchstbetrag auf 156 emporstieg und die niedrigste Tagesziffer auf 40 herabsank. Auch die schon früher in Stralsund beobachtete Tagesschwankung, wobei zur Mittagszeit oft weniger Rotkehlchen beobachtet wurden wie morgens und abends, machte sich auf den meisten Beobachtungsstationen gelegentlich geltend. Dagegen wurden an manchen Orten umgekehrt auch zur Mittagszeit wieder einmal mehr Vögel wie an den beiden anderen Terminen wahrgenommen, das gilt von der Stubnitz, Tribbevitz, Elmenhorst, Triebsees, Thiessow, Losentitz, Gustow und Prerow. Die Frequenzlisten für Herbst 1903 erhärten demnach folgende, durch frühere Beobachtungen abgeleitete Wandergesetze: Der Herbstdurchzug der Rotkehlchen erfolgt unter dem Einfluss bestimmter meteorologischer Ursachen. Die Rotkehlchen werden in Neuvorpommern und Rügen auf dem Herbstzuge lokalisiert, sie verweilen an den ihnen zusagenden Örtlichkeiten längere Zeit. Während der Durchzugs-Besiedelung streichen sie im Landesteil vielfach zigeunerartig umher, bald hier, bald dort in grösserer Zahl auftretend.

Die Tatsache nun, dass auf der Ost-Westlinie der Durchzug sich ein wenig später, aber anhaltender und auffallender der Kopfzahl nach gestaltet, wie auf der Nord-Südlinie, ist von der grössten Bedeutung und Tragweite, denn sie gewährt einen direkten Einblick in die Richtung und in die Form des herbstlichen Durchzuges. Das Beobachtungsnetz in Kreuzform, Nord-Süd und Ost-West verlaufend, wird auf dem Durchzuge von den wandernden Rotkehlchen getroffen; dabei sind vier Fälle zur Herbstzeit möglich. Die Rotkehlchen kommen aus Norden, sodass sie senkrecht zur

Ost-Westlinie durchziehen, dann muss diese gelegentlich viel grössere Frequenzziffern und grössere Schwankungen in der Zahl der durchreisenden Rotkehlchen aufweisen, wie die Nord-Südlinie. Erfolgt der Durchzug direkt von Osten, so muss die Nord-Südlinie umgekehrt nach Frequenzziffer und Tagesschwankung die bevorzugte sein. Andere Beobachter lassen den Vogelzug im Herbst in der Richtung Nordost-Südwest vor sich gehen, dann müssen beide Linien des Beobachtungsnetzes gleichmässig von Rotkehlchen auf dem Durchzuge besucht werden und endlich ist der vierte Fall unter der Annahme möglich, dass tatsächlich eine feste Wanderstrasse, die Landbrücke zwischen Schweden und Deutschland, aus den dänischen Inseln und Jütland gebildet, besteht, von wo aus die Rotkehlchen nur zufällig zur Herbstzeit nach Pommern durch Wirbelwinde verschlagen werden, sodass sie aus Nordwesten her zu uns kommen würden. Auch dann müssten beide Arme des Beobachtungskreuzes gleichmässig von durchziehenden Rotkehlchen besucht werden. Die Zuwanderung im Herbst erfolgt in Neuvorpommern und Rügen direkt von Norden her und in Wellenform, das heisst in breiter Front. Beim Überschreiten der Ost-Westlinie ruft diese Vogelwelle dort eine starke und andauernde Frequenzerscheinung hervor. In der Tat erfolgten auch die ersten starken Zuwanderungen an der Nordküste Rügens, in Altenkirchen und Gelm am 3. und 6. Oktober 1903, eine dritte Zuwanderung, am 8. Oktober abends und 9. Oktober morgens an der Nordküste Rügens, scheint sozusagen ausserhalb des entwickelten Programms zu stehen, sie wurde hervorgerufen durch eine Depression über der Riga-Bucht und durch halbseitige Luftwirbel über Rügen; wie sich aus der Durchsicht der lokalen Windverhältnisse ergibt: nordöstliche Winde traten an der Nordküste Rügens auf und fluteten in kurzem Bogen über Bergen wieder als Westwinde ab, am folgenden Tage, 9. Oktober 1903 wehten stürmische Winde: Sassnitz Nordost, Bergen Ost und Wittow Südost. Kleinere, von der allgemeinen Wetterkarte nicht aufgenommene Luftwirbel über Ostsee und Rügen erklären demnach im Verein mit der Depression über Riga diese dritte Zuwanderung an der Nordküste Rügens. Noch ein dritter Punkt spricht für den Nord-Südzug der Rotkehlchen im Herbst. Die drei nach Süden vorspringenden Landspitzen Rügens, Thiessow auf Mönchgut, Zudar mit Losentitz und Bessiner Haken mit Bessin zeigten wiederum den

hemmenden Einfluss des Wassers auf den Nord-Südzug, sie wirkten ähnlich wie ein Fangnetz, in welchem sich in den Tagen nach der jedesmaligen Zuwanderung die von Nord nach Süden fortstreichenden Rotkehlchen in grösserer Anzahl fest flogen. Eine ähnliche Wirkung zeigen auch die grossen Waldgebiete Elmenhorst, Schlemmin und Willershagen. Die Vogelwellen also, welche im Herbst die Rotkelchen in der Zugrichtung von Nord nach Süd an die deutsche Ostseeküste bringen, besitzen eine Vorhut, welche die erste Zuwanderung an die Nordküste Rügens ausführt und eine Nachhut, welche in den nach Süden in die Ostsee oder den Gellen vorspringenden Landspitzen und in ausgedehnten Waldgebieten zurückgehalten wird.

## III. Abschnitt.

# Andere ornithologische Beobachtungen über die Rotkehlchen-Wanderungen an der deutschen Ostseeküste.

Die in dem Abschnitt über die Beziehungen zwischen bestimmten Wetterlagen und charakteristischen Wandererscheinungen des Rotkehlchens zunächst für Stralsund abgeleiteten Wandergesetze haben soeben eine Bestätigung und Erweiterung für den Landesteil Neuvorpommern und Rügen gefunden. Es erübrigt nun noch ihre Brauchbarkeit gegenüber anderen Beobachtungen, welche über den Rotkehlchenzug an der deutschen Ostseeküste vorliegen, zu prüfen. Nach der Zeitfolge geordnet, kommen dabei im wesentlichen die Beobachtungen an den Leuchttürmen, von R. Blasius[1]) für die Jahre 1888—1891 zusammengestellt, und die von dem Verbande der ornithologischen Vereine Pommerns[2]) niedergelegten Beobachtungen von 1895 an, in Betracht. Auch muss der Vollständigkeit halber das in den Wanderkarten für 1899—1901 angehäufte Beobachtungsmaterial einer kritischen Prüfung auf die aufgestellten Wandergesetze hin unterzogen werden, während die Hauptdaten über den Frühjahrs- und Herbstzug 1902 und 1903 bereits nach dieser Richtung hin abgetan und die Brachbarkeit der Wandergesetze erwiesen haben. Zunächst die Beobachtungen an den deutschen Leuchttürmen. Aus den von R. Blasius zusammengestellten Übersichten über Anflug und Tagesbeobachtung der Rotkehlchen sind diejenigen Tage, an denen ein stärkerer Anflug oder ein Verweilen der Rotkehlchen während der Tagesstunden, namentlich, wenn sie gleichzeitig an mehreren Leuchttürmen erfolgten, herausgenommen und mit den zur Zeit gerade vorherrschenden Wetterlagen und Witterungserscheinungen auf Grund

[1]) R. Blasius, Vogelleben an den deutschen Leuchttürmen 1888—1900.

[2]) Zeitschrift für Ornithologie und praktische Geflügelzucht. Stettin. 1895—1898.

des Wetterkarten-Materials der Hamburger Seewarte verglichen worden. Beobachtungsmaterial und Wetterkarten bestätigen die abgeleiteten Wandergesetze.

1. 14. April 1888: Funkenhagen 2 Uhr morgens 89 Rotkehlchen angeflogen, Greifswalder Oie 1—4 Uhr morgens 3 R. angeflogen, Heisternest häufig am Tage. Am 13. April 1888 bildete sich über Finnland ein Hochdruckgebiet von 760 mm, welches sich über Schweden und Russland bei steigendem Luftdruck ausbreitete. Hochdruckgebiet Nordost-Europa.
2. 17. und 18. April 1888. Funkenhagen 3 Uhr morgens 15 R. angeflogen, häufig am Tage, Gross-Horst am 17. und 18. April nachts 24 R. angeflogen, in Swinemünde nur am 18. April beobachtet, Hela R. häufig am 18. April. Das Hochdruckgebiet war am 17. April über Finnland auf 775 mm gestiegen und breitete sich am 18. April zu einer grossen Anticyklone über Ost-, Süd- und Zentral-Europa aus. Anticyklone Ost-Europa.
3. 8. und 9. Oktober 1888. Scholpin am 8. Oktober häufig am Tage, Funkenhagen 11 Uhr abends 11 R. angeflogen, Heisternest 9. Oktober abends 8 R., Swinemünde 1 R., Greifswalder Oie 14 R. angeflogen. Am 7. Oktober 1888 lag ein Hochdruckgebiet quer über Europa, von Russland bis zum Atlantischen Ozean, woraus sich am 8. und 9. Oktober eine Anticyklone von 765 mm über Nordost-Russland bildete. Anticyclone Nordost-Europa.
4. 10. Oktober 1888. Hela nachts 60 R., Scholpin abends 5 R., Swinemünde 2 R. angeflogen. Teildepression über der Ostsee, Wirbelwinde an der deutschen Ostseeküste.
5. 15. Oktober 1888. Jershöft 4 Uhr morgens 21 R., Funkenhagen abends 7 R. angeflogen. Die Wetterkarten vom 14. und 15. Oktober waren nicht mehr vorhanden.
6. 30. Oktober 1888. Funkenhagen 30. Oktober 10 Uhr abends 55 R., 31. Oktober 11 Uhr abends 5 R., Gross-Horst 30. Oktober abends 13 R., 31. Oktober morgens 24 R., Greifswalder Oie 1. November abends 5 R. angeflogen. Tagelang vorher gleichmässiger Luftdruck bei parallelen Isobaren.

7. 4. April 1889. Scholpin von 9 Uhr abends an 10 R. angeflogen, Funkenhagen am Tage beobachtet. Am 3. und 4. April Teildepression mit Wirbelwinden über der mittleren Ostsee.
8. 19.—21. April 1889. Funkenhagen 19. April 11 Uhr abends 11 R. angeflogen, häufig am Tage, Gross-Horst 21. April 2 R. angeflogen, am Tage vorher 6 R. beobachtet, Buk 21. April abends 50 R. angeflogen. Vom 18. April an bildete sich ein Hochdruckgebiet über Ost-Europa aus. Anticyklone Nordost-Europa.
9. 24. April 1889. Gross-Horst abends 9—12 Uhr 20 R. angeflogen. Anticyklone von 760 mm Druck, welche Mittel-Schweden, Ostsee, Pommern und Riga-Bucht überdeckte.
10. 27. September bis 3. Oktober 1889. Funkenhagen 28. September abends 15 R., 29. September abends 10 R., 30. September nachts 25 R., 2. Oktober abends 9 R. angeflogen, auch am Tage dort beobachtet. Gross-Horst 27. September abends 3 R., 28. September nachts 9 R., 29. September abends 8 R., 30. September nachts 16 R., 1. Oktober nachts 14 R., 2. Oktober abends 9 R., 3. Oktober nachts 8 R. angeflogen. Häufig am 3. Oktober in Scholpin, angeflogen in Jershöft am 3. Oktober 2 R. Am 26. September lagerte eine Anticyklone von 770 mm über der Nordsee, welche sich über Deutschland, nach West-Russland und Ost-Europa verschob. Anticyklone über Deutschland. Am 2. Oktober bildete sich ausserdem ein barometrisches Minimum über der westlichen Ostsee, welches einen ausgeprägten Luftwirbel mit starken und am 3. Oktober mit stürmischen Winden hervorrief.
11. 17.—19. Oktober 1889. Greifswalder Oie 17. Oktober abends 9 R., Scholpin 18. Oktober abends 2 R., Gross-Horst 17. Oktober abends 4 R. angeflogen, Buk 19. Oktober die ersten Rotkehlchen am Tage beobachtet, nachts 14 R. angeflogen. Anticyklone 16. Oktober über Deutschland und Ostsee, wandert östlich und ruft in Finnland am 17. und 18. Oktober ein Hochdruckgebiet von 770 mm hervor.
12. 22. Oktober 1889. Gross-Horst 22. Oktober morgens 11 R., Buk abends 70 R. angeflogen, am Tage in Buk und Swinemünde beobachtet. Anticyklone mit 770—775 mm Druck überlagert am

21. Oktober England, Zentral-Europa und Russland, am 22. Oktober England, Nord-Frankreich und Deutschland, starke bis stürmische Nordwestwinde an der Ostsee hervorrufend.

13. 24.—25. Oktober 1889. In Buk am 24. Oktober zahlreiche Rotkehlchen am Tage, Gross-Horst 24. Oktober abends 6 R., 25. Oktober morgens 5 R., Greifswalder Oie 3 R. angeflogen. Anticyklone mit 770 mm Druck lag am 24. Oktober über Finnland und Schweden, am 25. Oktober mit 775 mm Druck über Skandinavien. Hochdruckgebiet über Nordost-Europa.

14. 9.—10. April 1890. In Scholpin und Funkenhagen Rotkehlchen am Tage, Scholpin 9. April abends 2 R., Funkenhagen 10. April abends 2 R. angeflogen. Minimum 8. April mit 735 mm Druck über Kattegat, 9. und 10. April über Dänemark und westliche Ostsee.

15. 21.—22. April 1890. Scholpin 21. April abends 15 R., Funkenhagen 22. April nachts 15 R., Greifswalder Oie 22. April abends 4 R. angeflogen, am Tage häufig in Funkenhagen. Hochdruckgebiet von 770—775 mm vom 20.—22. April über Finnland.

16. 24. April 1890. Buk nachts 15 R. angeflogen, am Tage dort beobachtet. Hochdruckgebiet 760—765 mm Druck über Nordost-Europa.

17. 21. und 25. August 1890. Das auffallend frühzeitige Auftreten von Rotkehlchen an den Leuchttürmen von Gross-Horst und Scholpin ist meteorologisch nicht zu erklären.

18. 14. September 1890. Funkenhagen 14. September abends 12 R., 15. September abends 18 R.. Gross-Horst 14. September morgens 22 R. angeflogen, in Funkenhagen auch am Tage beobachtet. Grosse Anticyklone mit 770 mm Druck vom 13.—15. September über England, Süd-Schweden, Frankreich und Deutschland. Hochdruckgebiet Nord-Europa.

19. 12.—15. Oktober 1890. Jershöft 12. Oktober abends 6 R., 13. Oktober morgens 2 R., 15. Oktober abends 2 R., Scholpin 12. Oktober abends 3 R., 13. Oktober morgens 6 R., 14. Oktober morgens 4 R., 15. Oktober nachts 2 R. angeflogen. Funkenhagen 13. Oktober 11 Uhr abends bis morgens von unzählbaren Rotkehlchen umkreist, häufig dort auch

am Tage. Anticyklone von 775 mm Druck vom 12.—15. Oktober über Zentral-Europa.

20. 26.—30. Oktober 1890. Funkenhagen 26. Oktober abends 26 R., 28. Oktober abends 11 R. angeflogen. Am 26. Oktober entwickelte sich ein barometrisches Minimum über Süd-Schweden mit 735 mm Druck, welches am 27. Oktober auf der Ostsee (730 mm) und am 28. Oktober über Finnland lagerte. In Süd-Europa 765 mm Hochdruck. Am 26. Oktober starke bis steife Wirbelwinde, am 27. Oktober Wirbelsturm auf der Ostsee und am 28. Oktober Wirbelwinde, stark bis stürmisch in der westlichen Ostsee. Am 29. Oktober ruhiges Wetter bei parallelen Isobaren. Am 30. Oktober erscheint über Süd-Schweden ein neues Tiefdruckgebiet mit 730 mm, welches einen heftigen Wirbelsturm hervorruft. Abends fliegen 8 R. in Funkenhagen an. Tags darauf mittlerer Barometerdruck über der Ostsee. Zwei Tiefdruckgebiete mit Wirbelstürmen an der Ostsee.

21. 1.—3. November 1890. Funkenhagen 1. November abends 18 R., Memel 2. November abends 5 R., 3. November nachts in Funkenhagen 19 R. angeflogen. Diese späten Zugtermine an den Leuchttürmen sind um so auffallender, weil an den meisten Stationen die Rotkehlchen am Tage nur bis Mitte Oktober, in Funkenhagen nicht über den 22. Oktober hinaus beobachtet wurden. Am 1. November Tiefdruck 750 mm von Helgoland über die Ostsee wandernd und Wirbelwinde erzeugend, am 2. November Tiefdruck 730 mm über Schottland und am 3. November Teildepression über Dänemark mit 740 mm, Wirbelwinde hervorrufend. An allen drei Tagen ausserdem Hochdruckgebiet von 760—765 mm über Nordost- und Ost-Europa. Hochdruckgebiet über Nordost-Europa und Wirbelwinde an der Ostsee.

22. 6. November 1890. Funkenhagen 6. November abends 9 R. angeflogen. Am 5. November lagerte ein Minimum von 745 mm über der Nordsee, welches am 6. November über Dänemark und Ostsee wanderte und am 7. November die Rigaer Bucht überdeckte. Tiefdruckgebiet mit Wirbelwinden über der Ostsee.

23. 8.—11. November 1890. Memel 8. November nachts 6 R., Funkenhagen 10 Uhr abends 24 R., Memel 10. November nachts 12 R., Funkenhagen 10 Uhr abends nochmals 24 R., Funkenhagen 11. November 11 Uhr abends 16 R. angeflogen. Vom 8.—12. November eine Reihe von barometrischen Tiefdruckgebieten über den britischen Inseln, gleichzeitig aber am 8. November Hochdruckgebiet von 760 mm über Ost-Europa, welches am 9. November mit 765 mm Druck über Nordost-Europa, vom 10.—12. November mit 775 mm Druck über Finnland ruhte. Hochdruckgebiet in Nordost-Europa.
24. 13.—15. November 1890. Funkenhagen 13. November 10 Uhr abends 17 R., 14. November nachts 45 R., Memel 15. November abends 5 R. angeflogen. Am 13. November entwickelte sich von Ost-Europa aus eine Anticyklone, welche über Deutschland bis nach Frankreich hinein mit 775 mm Druck ragte. Am 14. November zog sie sich auf Ost-Europa zurück, am 15. November überdeckte sie mit einem breiten Gürtel den europäischen Kontinent vom Atlantischen Ozean bis nach Sibirien. Anticyklone über Zentral-Europa und Hochdruckgebiet in Ost- und Nordost-Europa.

Aus den ornithologischen Jahresberichten über Pommern, erschienen in der Zeitschrift für Ornithologie und praktische Geflügelzucht. Stettin.

25. 13. September 1895. Stralsund. Starker Durchzug von Rotkehlchen und Singdrosseln (Hübner). Barometrisches Minimum 750 mm von Süd-Schweden die Ostsee durchquerend. An der westlichen Ostsee starke Westwinde, an der preussischen Küste starke Südwestwinde. Tiefdruckgebiet und Wirbelwinde über der Ostsee.
26. 4. Oktober 1895. Greifswald. Mehrere Rotkehlchen in der Promenade (A. v. Homeyer). Tiefdruckgebiet von 740 mm über der Ostsee erzeugt am 3. Oktober nachmittags und abends und am 4. Oktober Luftwirbel an der westlichen Ostsee mit schwachen bis stürmischen Winden. Tiefdruckgebiet und Wirbelwinde über der Ostsee.
27. 14. Oktober 1895. Greifswald. Starker Rotkehlchenzug (H. Hansen). Hoher Luftdruck von 780 mm herrschte über der skandinavischen

Halbinsel mit starken bis stürmischen Nordostwinden an der pommerschen Küste. Anticyklone über Nord-Europa.

28. 17. Oktober 1896. Greifswald. Starker Rotkehlchenzug (A. v. Homeyer). Atlantischer Ozean 755 mm, Ost-Russland 770 mm. Über Nord-Dänemark wehten starke Ostwinde, über Schleswig-Holstein schwache Nordwestwinde, über den dänischen Inseln schwache Westwinde, über Swinemünde schwache Südwestwinde und an der preussischen Küste südöstliche Winde. Hochdruckgebiet Ost-Europa und gleichzeitig Wirbelwinde über der westlichen Ostsee.

29. 5.—6. Oktober 1897. Stralsund. Rotkehlchenzug (Hübner). Am 5. und 6. Oktober überlagerte ein abgerundetes Hochdruckgebiet von 775 mm Schweden, Dänemark, Ostsee und Nord-Deutschland. An der Ostseeküste schwache bis stürmische Nordostwinde. Anticyklone über Zentral- und Nord-Europa.

30. 10.—11. Oktober 1897. Stralsund. Starker Rotkehlchenzug (Hübner). Am 9. Oktober lag ein Tiefdruckgebiet von 750 mm über Norwegen, welches am 10. Oktober eine Teildepression nach dem westlichen Russland hinübersandte und in der westlichen Ostsee wirbelnde Winde, schwach bis stürmisch, aus Nordwest bis Südwest erzeugte. Am 11. Oktober barometrisches Minimum von 745 mm über Süd-Norwegen mit charakterischem Cyklon über der Ostsee. Tiefdruckgebiet und Wirbelsturm über der Ostsee.

31. 18.—19. Oktober 1897. Stralsund. Sehr starker Rotkehlchenzug, gleichzeitig wandern Sing- und Weindrossel, Wiesenpieper, Feldlerche, Heckenbraunelle und Zaunkönig (Hübner). Am 17. Oktober West-Irland 740 mm, Südost-Europa 775 mm. Am 18. Oktober ausgeprägte Anticyklone mit 770 mm Hochdruck über Russland und Deutschland, am 19. Oktober über Deutschland. Gleichzeitig sehr dichter Nebel am Beobachtungsorte. Anticyklone über Ost-Europa, Nebel.

32. 23. Oktober 1897. Stralsund. Sehr lebhafter Durchzug von Rotkehlchen, Heckenbraunellen, Zaunkönigen, Staaren, Bekassinen und Saatgänsen (Hübner). Wetterlage ähnlich wie vorher, Hochdruck 775 mm, sehr dichter Nebel. Anticyklone Zentral-Europa, Nebel.

33. 21. Oktober 1898. Stralsund. Viele Rotkehlchen und gelbköpfige Goldhähnchen, Meisen und Heckenbraunellen (Hübner). Am 20. Oktober abends tritt plötzlich bei Posen ein barometrisches Minimum auf mit Wirbelwinden. Am 21. Oktober morgens ein zweites über der südlichen Ostsee mit Wirbelwinden. Gleichzeitig in Ost-Russland 775 mm Hochdruck. Tiefdruckgebiet und Wirbelwinde über der Ostsee.
34. 23. Oktober 1898. Stralsund. Zahlreiche Rotkehlchen und gelbköpfige Goldhähnchen. Sehr hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei 16° C., nachmittags Regen, nachts dichter Nebel (Hübner). Am 22. Oktober bildete sich eine Anticyklone über Zentral-Europa mit 765 mm Hochdruck, welche am 23. von Frankreich bis Russland bei 770 mm reichte. Anticyklone über Zentral-Europa, Nebel.

Die zahlreichen und eingehenden Beobachtungen, welche in den Wanderkarten für den Herbstdurchzug 1899 bis 1901 niedergelegt sind, haben zwar den ersten Anlass zur Gewinnung der abgeleiteten Wandergesetze gegeben, sind indessen in ihrer Gesamtheit und nach den meteorologischen Grunderscheinungen geordnet, sehr wohl geeignet als Prüfstein für die Gültigkeit der Wandergesetze selbst benutzt zu werden. Als auffallendste Ursache für die Rasterscheinungen wandernder Rotkehlchen mögen die barometrischen Minima, welche ausgeprägte Luftwirbel und Wirbelstürme beim Durchqueren der Ostsee erzeugen, und die Teildepressionen, welche nach der skandinavischen Halbinsel, Dänemark uud der Ostsee vorgeschoben, ganz ähnliche, meist aber nur halbseitige Luftwirbel hervorrufen, vorangestellt werden. Unter dem Einfluss dieser Wetterlagen erklären sich die Rasterscheinungen der Rotkehlchen an folgenden Beobachtungstagen:

1899: 27. September, 28. Oktober, 11. November, 23. November (Luftwirbel), 25. November, 5. Dezember und 16. Dezember.
1900: 30. September, 3. Oktober, 6. Oktober (Luftwirbel), 11. Oktober, 14. Oktober, 16. Oktober, 19. Oktober, 16. November, 23.—24. November, 16. Dezember (Luftwirbel): 28.—29. Dezember.
1901: 6.—10. Oktober, 24. Oktober, 29. Oktober, 10.—12. November, 14. bis 15. November (Luftwirbel), 19. November, 21.—22. November, 26. November, 28.—29. November, 2.—4. Dezember, 12. Dezember (Luft-

wirbel), 15. Dezember (Weststurm), 21. Dezember und 26. Dezember (Luftwirbel).

Dagegen wurden bei diesen Wetterlagen keine Rotkehlchen in Stralsund beobachtet am:

21. September 1899, wahrscheinlich wegen des frühen Termins, am 12. November 1899, am 26. September 1900, am 15. Oktober 1900, wo voller Südweststurm an der pommerschen Küste tobte, am 24. Oktober 1900 und am 15.—16. Dezember 1901, einem bereits an die Wintergrenze vorgerückten Datum.

Das sind im ganzen 38 Beobachtungsfälle, von denen 32 sich als zutreffend und nur 6 als Fehlerscheinung erwiesen haben.

Rasterscheinungen, welche durch Hochdruckgebiete in Nord- oder in Ost-Europa verursacht wurden, traten ein:

1899: 30. September, 9. Dezember, 12.—17. Dezember, 21. Dezember und 27. Dezember.

1900: 22. November, 28. November und 2. Dezember.

1901: 25.—27. September, 1.—4. Oktober, 27. Oktober und 19. Dezember. Dagegen wurden in Stralsund beim Vorherrschen nördlich oder östlich lagernder Hochdruckgebiete keine Rotkehlchen am 3. und 20. November 1900, am 31. Dezember 1900, einem ausserordentlich spätem Termin und am 20.—24. September 1901, zu einem Zeitpunkt, wo der Rotkehlchenzug noch nicht eingesetzt hatte, sodass diese vier Fälle sich auf zwei ruduzieren lassen. Von 16 Beobachtungsfällen erwiesen sich demnach zwölf als zutreffend, zwei zeitigten Fehlerscheinungen und zwei weitere scheiden wegen der Lage dieser Termine aus.

Durch Anticyklone, welche Zentral-Europa überlagerten, wurden Rasterscheinungen an folgenden Tagen hervorgerufen:

1899: 16., 19., 22. und 26. Oktober, 26. November.

1990: 8.—9., 12. Oktober, 3. und 8. Dezember.

1901: 28.—30. September, 30. Oktober—4. November, 24.—25. November. Dagegen fehlten Rotkehlchen am 9. Oktober 1899, 14. November 1899, am 21.—29. September 1900, wo der Rotkehlchenzug überhaupt noch

nicht eingesetzt hatte und am 17. und 25. Dezember 1900, zu einer Zeit, als die Herbstwanderung im Erlöschen war. Scheidet der Fall 21.—29. September 1900 aus, so verbleiben 16 Fälle, von denen zwölf zutreffend, vier dagegen als Fehlerscheinung verliefen.

Gleichmässig verteilter Luftdruck, oder gleichmässig abgestufter Luftdruck bei parallelen Isobaren und mittlerem Druck über der westlichen Ostsee trat im ganzen an 122 Tagen ein, an denen nach den entwickelten Wandergesetzen Rotkehlchen in den Lüften über uns fortwandern und nicht rasten sollen. Dagegen wurden Rotkehlchen am 12. Oktober 1899, am 5. bis 6. November 1899, am 25. November, 14. und 22. Dezember 1900, am 22. Oktober 1901, am 5.—9. November 1901, wo vorwiegend stürmische Nordwestwinde wehten, am 17. November, 8., 22. und 30. Dezember 1901 wahrgenommen. Von 122 Fällen verliefen demnach 111 zutreffend, während 11 mal rastende Rotkehlchen in Stralsund festgestellt wurden. Man darf demnach der Überzeugung Ausdruck geben, dass die Beobachtungen an den Ostsee-Leuchttürmen, die ornithologischen Beobachtungen aus Neuvorpommern und das Beobachtungsmaterial in den Wanderkarten für Herbst 1899—1901, sowie die Frühjahrs- und Herbstbeobachtungen aus den Jahren 1902 und 1903 mit den auf meteorologischer Grundlage für das Rotkehlchen gewonnenen Wandergesetzen in gutem Einklang stehen, und man darf gleichzeitig der Vermutung Raum geben, dass noch einige andere, in ihrer Lebensweise dem Rotkehlchen nahe stehende Singvögel, mit diesem Art und Form der Wanderung teilen.

Auch das umfangreiche Beobachtungsmaterial von den deutschen Leuchttürmen, welches soeben von R. Blasius für die Jahre 1900—1903 verarbeitet worden ist (Ornis 1904, S. 257—380), enthält zahlreiche Belege für die gesetzmässigen Erscheinungen des Rotkehlchenzuges, wie die nachfolgende Zusammenstellung des nächtlichen Anfluges zeigt.

21.—22. September 1900. Greifswalder Oie 20 R. (Rotkehlchen). Hochdruckgebiet über Nordost-Europa.

1. Oktober 1900. Funkenhagen 19 R., Adlergrund 40 R., Greifswalder Oie 12 R., Arkona 13 R., Darsser Ort 20 R. Ein sehr grosses Tiefdruckgebiet von Schottland bis Norwegen rief vom 30. September

abends ab einen mächtigen Luftwirbel hervor, kühlte England, Süd-Norwegen und Russland ab und erwärmte Süd-Schweden und die deutsche Nord- und Ostseeküste (vgl. Tab. XXI, Fig. 18). Am 30. September hatte Haparanda bereits 0° C., Stockholm dagegen 10°, Kopenhagen 12°, Swinemünde 11°. Am 1. Oktober Stockholm 12°, Kopenhagen 14° und Swinemünde 14°.

2. Oktober 1900. Scholpin 4 R., Funkenhagen 12 R., Gross-Horst 36 R., Adlergrund 20 R., Greifswalder Oie 10 R., Darsser Ort 8 R., Buk 30 R. Die Wetterlage vom 30. September hielt noch an, die 760 und 765 mm Isobare zeigten starke Ausbuchtungen und es bestanden ganz eigenartige Windverhältnisse, wobei die Luftströmungen sich wirbelnd durchflochten und oft auf engem Gebiet ganz entgegengesetzte Richtungen annahmen (vgl. Tab. XXI, Fig. 19). Derartige Windverhältnisse bringen die Rotkehlchen in Wanderung, so auch am 23. Oktober 1898 und an einigen anderen Zeitterminen. Das Ostseegebiet blieb auch am 2. Oktober 1900 warm, Stockholm 10°, Kopenhagen 12°, Swinemünde 13° C. In Stralsund war am 2. und 3. Oktober 1900 ebenfalls lebhafter Rotkehlchenzug.

3. Oktober 1900. Nidden 20 R., Gross-Horst 16 R. Das Tiefdruckgebiet vom 30. September bis 2. Oktober sendet eine Teildepression an die südwestliche Küste von Norwegen und erzeugt nachmittags ein barometrisches Minimum von 750 mm Tiefdruck bei Stockholm, welches die Ostsee durchquert.

4. Oktober 1900. Nidden 10 R., Kahlberg 8 R., Adlergrund 20 R., Greifswalder Oie 15 R. Tiefdruckgebiet 745 mm bei Finnland.

16. Oktober 1900. Funkenhagen 27 R., Gross-Horst 3 R., Adlergrund 20 R., Arkona 21 R. Tiefdruckgebiet 740 mm Ostsee.

30. August 1901. Arkona 27 R. Grosses barometrisches Minimum mit 755 mm Tiefdruck über mittlere Ostsee bis Finnland und russische Ostseeprovinzen, bringt allgemeine Abkühlung über Schweden, Norwegen und Finnland hervor und verursacht diesen ausserordentlich frühen Zugtermin des Rotkehlchens.

17. September 1901. Kahlberg 15 R., Heisternest 7 R., häufig dort am Tage. Hochdruckgebiet über Ost-Europa.

19. September 1901. Memel 5 R., Kahlberg 12 R., Funkenhagen 11 R. Hochdruckgebiet über Ost-Europa.

12.—20. Oktober 1901. Anflug an die meisten Ostsee-Leuchttürme. Hochdruckgebiet dauernd über Nordost-Europa.

3.—4. April 1902. Gross-Horst 10 R. und 9 R. Am 2. April nachmittags entsteht ein Minimum von 745 mm über der mittleren Ostsee, welches nach der Rigabucht und am 3. April nach Petersburg wandert und allgemeine Erwärmung des Ostseebeckens herbeiführt.

13. April 1902. Funkenhagen 7 R., Gross-Horst 8 R., Buk 10 R. Hochdruck von 775 mm über Finnland.

18. April 1902. Gross-Horst 23 R. Hochdruck Ost-Europa und Teildepression Skagerak. Luftwirbel.

4.—5. Mai 1902. Kahlberg 3 und 4 R., Heisternest 5 R. Vom 3.—6. Mai durchziehen eine Reihe von Cyklonen die westliche Ostsee.

8. Oktober 1902. Rixhöft 6 R., Funkenhagen 5 R., Gross-Horst 20 R., Darsser Ort Anflug in Scharen, Buk 30 R. Depression an der Nordseeküste und auf der Ostsee. Luftwirbel.

9. Oktober 1902. Kahlberg 4 R., Scholpin 5 R., Funkenhagen 9 R., Gross-Horst 28 R., Darsser Ort 60 R. Hochdruckgebiet 770 mm Nord-Europa.

10.—11. Oktober 1902. Gross-Horst 4 R., Hiddensee 6 R., Funkenhagen 5 R., Buk 10 R. Hochdruckgebiet 765—770 mm Ost-Europa.

25.—26. Oktober 1902. Gross-Horst 8 und 9 R., Buk 30 R., Kahlberg 3 R., Heisternest 4 R. Grosses Tiefdruckgebiet über Skandinavien mit 735 mm, grosser, halbseitiger Luftwirbel über der Ostsee.

27.—29. Oktober 1902. Gross-Horst 8 und 17 und 5 R. Hochdruckgebiet von 765—770 mm über Ost-Europa.

23.—25. April 1903. Gross-Horst 23 und 18 R., Heisternest 10 R. Hochdruck 760—770 über Finnland, grosses Tiefdruckgebiet mit 745 mm über Nord-Deutschland mit halbseitigem Luftwirbel.

15.—17. Mai 1903. Gross-Horst 4 R., Scholpin 5 R., Funkenhagen 4 R. Dieser späte Anflug ist aus dem Wetterkartenmaterial nicht zu erklären.

14.—15. September 1903. Gross-Horst 4 R., Funkenhagen 14 R. Tiefdruckgebiete über Finnland und über der südlichen Ostsee. Wirbelsturm.

16.—17. September 1903. Gross-Horst 2 und 8 R. Hochdruckgebiet 780 mm über Finnland.

27.—30. September 1903. Gross-Horst 7 und 40 und 6 und 4 R., Arkona 29 R., Darsser Ort 50 und 1 R., Funkenhagen 6 R. Hochdruckgebiet mit 765—770 mm über Ost-Europa.

2. Oktober 1903. Funkenhagen 4 R., Gross-Horst 3 R. Tiefdruckgebiet mit 755 mm von Mittel-Schweden über die Ostsee nach Petersburg fortschreitend. Am 3. Oktober 1903 viele Rotkehlchen am Tage bei Stralsund (vgl. Tab. XXI, Fig. 20).

17.—18. Oktober 1903. Gross-Horst 6 und 10 R., Arkona 33 R., Scholpin 4 R. Tiefdruckgebiete über Rigabucht und dann über mittlere Ostsee.

19. Oktober 1903. Arkona 25 R. Hochdruck mit 770 über Nord-Europa.

20. Oktober 1903. Funkenhagen 4 R., Arkona 5 R. Hochdruck mit 770 mm über Nordost-Europa.

30.—31. Oktober 1903. Gross-Horst 5 und 7 R., Arkona 200 R. Hochdruck mit 770 mm über Ost-Europa.

2.—4. November 1903. Arkona 70 R., Darsser Ort 30 R., Gross-Horst 4 R. Anticyklone mit 770 mm Hochdruck über der südlichen Ostsee, nach Russland fortschreitend. Dunst und Nebel.

Auch die Tagesbeobachtungen an den Leuchttürmen liefern ein ebenso sicheres Beweismaterial für die Abhängigkeit der Rotkehlchen-Wanderungen von bestimmten Wetterlagen und den dadurch verursachten klimatischen Erscheinungen.

20. und 21. April 1900 zahlreich am Tage in Kahlberg und Jershöft. Anticyklone mit 775 mm Hochdruck über Zentral-Europa. Erwärmung des Ostseebeckens.

25. April 1900 Hela. Tiefdruckgebiete über Finnland und mittlere Ostsee.

15. Oktober 1900 Heisternest. Tiefdruckgebiet mit 740 mm über den dänischen Inseln.

18. Oktober 1900 Hela. Tiefdruckgebiet mit 755 mm über Rigabucht.

22. Oktober 1900 Swinemünde. Anticyklone Zentral-Europa. Erwärmung der südlichen Nordsee und der westlichen Ostsee.

7. März 1901 Kahlberg. Hochdruck 765 mm Ost-Europa und Wirbelsturm über der westlichen Ostsee.

4. April 1901 Heisternest. Depression 740—745 über Helgoland, allgemeine Erwärmung von Zentral-Europa.

7. April 1901 Hela. Tiefdruck 750 mm Finnland. Erwärmung von Zentral-Europa.

19. April 1901 Jershöft. Anticyklone 770 mm Zentral-Europa.

7. Mai 1901 Funkenhagen. Tiefdruck 750 mm Finnland.

20. September 1901 Heisternest. Hochdruck über Ost-Europa mit 765 mm.

10. Oktober 1901 Funkenhagen. Anticyklone mit 780 mm über Preussen.

31. Oktober 1901 Swinemünde. Anticyklone mit 780 mm über Zentral-Europa.

4. Oktober 1902 Swinemünde. Hochdruck 770 mm Nord-Europa.

10. Oktober 1903 Swinemünde. Tiefdruckgebiete über russische Ostseeprovinzen mit 750 mm und über Helgoland mit 745 mm. Wirbelsturm auf der westlichen Ostsee. In Stralsund morgens Rotkehlchenzug, dann starke Wanderung von weissen Bachstelzen, gelbköpfigen Goldhähnchen und Zaunkönigen.

Das umfangreiche Beobachtungsmaterial, welches über die Wanderungen des Rotkehlchens an den deutschen Leuchttürmen in den Jahren 1900—1903 gesammelt worden ist, liefert demnach auf Grund der zusammengestellten und kritisch untersuchten Auszüge eine ansehnliche Reihe von Belegen für die in dieser Abhandlung entwickelten Wandergesetze. Zunächst muss indess betont werden, dass die Statistik des Rotkehlchen-Anfluges an die Leuchtfeuer kein normales und abgeschlossenes Bild der Wanderung selbst geben kann, sondern nur wichtige Belege und Ergänzungen, denn der Anflug tritt fast ausnahmslos nur bei dunklem Nachthimmel, bei Dunst und Nebel oder bei Regenwetter ein, in hellen Nächten dagegen erfolgt er nicht. Die schwache nächtliche Beleuchtung bei klarem Wetter muss demnach noch ausreichend für die Orientierung der Rotkehlchen sein, eine Erscheinung, welche an gewisse Beobachtungen bei den Ballonfahrten von Lucanus erinnert. (F. v. Lucanus, Die Höhe des Vogelzuges. Neudamm 1904, S. 16.) Mitten auf der Ostsee (Blasius, S. 350), auf dem Leuchtschiff Adlergrund, wurde mehrfach die Zugrichtung der Rotkehlchen am Tage für die Herbst-

wanderung tatsächlich von Nord nach Süd beobachtet, wie sie sich aus den Feststellungen durch das in Kreuzform über Neuvorpommern und Rügen gelegte Beobachtungsnetz ergeben hatte. Dies ist um so beachtenswerter, weil für Adlergrund im allgemeinen keine Ablenkungsursachen hinsichtlich der Zugrichtung vorhanden sind, weder sichtbare Inseln und Küsten, noch Höhenzüge und waldige Niederungen, denn die Steilküsten von Arkona und Jasmund dürften auf dem Stationsschiff Adlergrund nur bei klarem, dunstfreiem Wetter in Sicht kommen. Auch die Wanderung in breiter Front, welche im Herbst die Rotkehlchen quer über die Ostsee von Schweden und den dänischen Inseln an die pommersche Küste führt, findet eine Reihe sehr schöner Belege durch die Aufzeichnungen an den Leuchttürmen: am 1. Oktober 1900 erfolgte Anflug an fast alle Leuchtfeuer von Funkenhagen in Hinterpommern bis Darsser Ort an der mecklenburgischen Grenze — in der folgenden Nacht von Scholpin bis Buk in Mecklenburg und am 4. Oktober 1900 von Nidden auf der kurischen Nehrung bis Darsser Ort, und zwar zeitlich so verteilt und verhältnismässig so wenig verschieden, dass von einer südbaltischen Küstenzugstrasse, welche einer vielverbreiteten Annahme entsprechend, die wandernden Rotkehlchen von den russischen Ostseeprovinzen an den Küsten Preussens, Pommerns und Mecklenburgs entlang nach Holstein führen würde, keine Rede sein kann. So am 1. Oktober 1900 in Funkenhagen 2—3 n. (2—3 Uhr nachts), in Adlergrund 11—12 n., in Greifswalder Oie 10—5 n., in Arkona 9—1 n. und in Darsser Ort 10—12 n.; am 2. Oktober 1900 in Scholpin 9—10 n., in Funkenhagen 12—1 n., in Gross-Horst 10—4 n., Adlergrund 12—2 n., Greifswalder Oie 8—4 n., Darsser Ort 11—12 n. und in Buk 10—5 n. Und endlich am 4. Oktober 1900 in Nidden 1—2 n., Kahlberg 1—2 n., Adlergrund 12—2 n. und Greifswalder Oie 10—4 n. Diese Gleichzeitigkeit des Anfluges an einer langgedehnten Küstenstrecke, wobei eine sehr erhebliche Zahl von Rotkehlchen die Leuchtfeuer annahmen, in der ersten Nacht auf fünf Stationen 104 Vögel, in der folgenden Nacht auf sieben Stationen 120 Vögel und in der letzten Nacht auf vier Stationen 53 Vögel, lässt keine andere Erklärung zu, als dass die Wanderer in sehr losem Verbande die Ostsee von Nord nach Süd überflogen und einer anhaltenden Brandungswelle vergleichbar in breiter Front während der Nachtstunden die deutsche Ostseeküste erreichten, bei trübem oder regnerischem

Wetter die Leuchttürme annahmen und sie während einer Dauer von mehreren Stunden meist nur einzeln oder wenn gleichzeitig, doch nur in geringer Kopfzahl anflogen. Denn Lokalisation und Strichwanderung lag nicht vor, weil weder Ende September, noch Anfang Oktober 1900 an irgend einem Leuchtturm am Tage Rotkehlchen beobachtet wurden.

Allgemeiner Anflug an die Leuchtfeuer, wie er vorhin geschildert wurde, tritt gar nicht selten ein, wenn die beiden einschneidenden Wetterlagen, welche die Rotkehlchen zur Herbstzeit in Zugbewegung an die deutsche Ostseeküste bringen, wenn Cyklone, das baltische Meer durchquerend, oder Hochdruckgebiete in Nord-, Nordost- oder Ost-Europa vorwalten; namentlich scheinen jene Hochdruckgebiete einzelnen Leuchttürmen ganz bedeutende Mengen von Rotkehlchen zuzuführen. So flogen am 21. September 1900 in Greifswalder Oie 20 Rotkehlchen, am 8. Oktober 1902 in Rixhöft 6, Funkenhagen 5, Gross-Horst 20, Darsser Ort Scharen und in Buk 30 Rotkehlchen, am 9. Oktober 1902 in Kahlberg 1, Scholpin 5, Funkenhagen 9, Gross-Horst 28 und Darsser Ort 60 Rotkehlchen, am 28. September 1903 in Gross-Horst 40, Arkona 29 und Darsser Ort 50 Rotkehlchen, am 30. Oktober 1903 in Arkona 200 Rotkehlchen, am 2. November 1903 in Arkona 70 Rotkehlchen und am 3. November 1903 an Darsser Ort 30 Rotkehlchen unter dem meteorologischen Einfluss von Hochdruckgebieten an die Feuer an.

Und nun der Gegensatz beim Vorherrschen gleichmässig abgestuften Luftdruckes, wo die Isobaren ziemlich parallel verlaufen, keine wirbelnden Winde und keine strahlenden Luftbewegungen eintreten und die 760-Isobare vielleicht sogar über die westliche Ostsee verläuft, eine Wetterlage, bei der durch vieljährige Tagesbeobachtungen für Stralsund das Verlöschen des Wanderfluges und der Rasterscheinungen nachgewiesen war, höchstens tritt an diesem oder jenem Tage ein vereinzeltes Rotkehlchen für kurze Zeit im Beobachtungsgebiet auf. Vom 12.—20. Oktober 1901, zur Zeit der Hauptwanderung also, war diese Wetterlage vorherrschend, das Gebiet höchsten Luftdruckes lag im Nordosten unseres Kontinents, sodass dadurch die Möglichkeit einer Rotkehlchen-Wanderung nicht völlig ausgeschlossen schien, und in der Tat wurden auch in Stralsund gelegentlich, aber nur vereinzelt Rotkehlchen angetroffen. An den Leuchttürmen erfolgte in diesem Zeitraum ein ausserordentlich schwacher Anflug, in den neun Tagen wurden an allen

Feuern zusammen nur 80 Rotkehlchen gezählt, zuweilen wurde nur eine einzige Station von wenigen Wandervögeln erreicht oder wenn in derselben Nacht zwei oder drei Stationen schwachen Anflug hatten, geschah es zu ganz verschiedenen Nachtstunden, wie die folgende Zusammenstellung erweist.
12. Oktober 1901. Funkenhagen 10—3 Uhr nachts 4 Rotkehlchen.

13. „ „ Kahlberg 2 n. 8 R., Gross-Horst 1—4 n. 5 R.
14. „ „ Memel 1—2 n. 3 R., Arkona 10—11 n. 13 R., Darsser Ort 2—3 n. 1 R.
15. „ „ Scholpin 2 n. 3 R.
16. „ „ Nidden 2 n. 6 R., Funkenhagen 10 n. 6 R., Gross-Horst 1—5 n. 6 R.
17. „ „ Memel 1—4 n. 4 R., Rixhöft 2—5 n. 1 R., Gross-Horst 9—1 n. 1 R.
18. „ „ Scholpin 8—9 n. 2 R., Gross-Horst 8—5 n. 10 R.
19. „ „ kein Anflug.
20. „ „ Funkenhagen 1 n. 4 R., Gross-Horst 8—5 n. 10 R.

Bei jener Wetterlage mit gleichmässig abgestuftem Luftdruck trat also trotz des Hochdruckgebietes in Nordost-Europa keine gleichzeitige Wanderung in breiter Front von Schweden nach Deutschland hinüber ein, noch zeigte sich die auffallende Erscheinung eines allgemeinen oder eines Massenanfluges. Die Rotkehlchen strichen offenbar in geringfügiger Anzahl in dem deutschen Küstengebiet umher, wobei sie bald diesen bald jenen Leuchtturm gelegentlich erreichten, ganz ähnlich wie die Tagesbeobachtungen für Stralsund bei Wetterlagen mit gleichmässig verteiltem Luftdruck ausgefallen waren, wo oft mitten in der Zugperiode die Rasterscheinungen des Rotkehlchens völlig verschwanden oder nur gelegentlich für kurze Dauer vereinzelt Rotkehlchen beobachtet wurden.

## IV. Abschnitt.

# Rückblick. Klimatische Einflüsse. Frühjahrs- und Herbstwanderung über Europa.

(Hierzu Tab. XXI Fig. 15—17 und Tab. XXII Fig. 25—29.)

---

Wanderstrassen oder Zug in breiter Front? Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Rotkehlchen seine Wanderungen ohne Benutzung geographisch bestimmter, jahraus, jahrein festliegender und in Linienform von ungleichmässigem Verlaufe über die Kontinente fortführende Zugstrassen vollzieht. Damit fällt für unsere Betrachtung auch jenes eigentümliche psychische Moment, welches die Anhänger der Zugstrassen-Theorie dem wandernden Vogel gleichsam als sechsten Sinn verleihen mussten, die Fähigkeit, jene ganz bestimmten, geographisch festliegenden Wanderstrassen immer wieder aufzufinden, mag man dieses besondere Sinnes- und Seelen-Attribut nun in den Begriff des Ortssinnes oder der besonderen, individuellen Anlage und Fähigkeit der Führer bei den Wanderscharen, oder einer eigentümlichen, traditionell gewordenen physischen Eigenschaft, von vergangenen Geschlechtern auf die Vogelwelt unserer Tage überkommen oder gar in den bequemen Begriff des Wander-Instinktes kleiden. Wir bedürfen für die Erklärung der Rotkehlchen-Wanderung nichts weiter wie die natürliche Leistungsfähigkeit der wohl ausgebildeten Vogel-Sinne und die Anerkennung einer tierischen Seele, welche die Eindrücke der Aussenwelt sinngemäss zu verwerten vermag, welche der Ungunst des Klimas, dem Mangel oder Reichtum an Nahrungsstoffen, den einschneidenden Witterungsverhältnissen und der erwachenden Liebe in der Frühlingszeit gerecht wird, jenen biologischen Grundfaktor des tierischen Organismus, den Erhaltungstrieb der Art.

Die Rotkehlchen wandern im Herbst langsam vom Brutrevier zur Winterherberge und umgekehrt zur Frühjahrszeit, indem sie dazwischenliegende Ländergebiete weiten Umfanges, wo ihnen die klimatischen und geographischen, die Vegetations- und Ernährungsverhältnisse zusagen, bei dem Durchzuge vorübergehend besiedeln, eine Erscheinung, die wir als Lokalisation der Wandervögel bezeichneten. Hier führen sie unter dem Einfluss der Tageszeiten und namentlich der Witterungserscheinungen Strichwanderungen von Ort zu Ort aus, sie kommen und gehen, sie können aber auch zur örtlichen Rast gezwungen werden, wenn rauher Sturmwind, wenn dichter Seenebel oder winterlicher Schneefall im Frühling sie überrascht. Zu den allgemeinen Rasterscheinungen während des Frühlings- oder Herbstdurchzuges werden die Rotkehlchen hingegen durch bestimmte Wetterlagen veranlasst: wenn barometrische Minima oder Teildepressionen bestimmter geographischer Lagen die Atmosphäre über dem Ostseebecken in wirbelnde Bewegung setzen, wenn barometrische Hochdruckgebiete in Nord- oder Ost-Europa auftreten und wenn Anticyklone Zentral-Europa überlagern. Freier Flug in den Lüften steht ihnen offen, wenn gleichmässiger Luftdruck, oder einseitig abgestufter Luftdruck ohne Wirbel- und ohne Strahlungswinde vorherrschen, mit mittlerem Druck über der westlichen Ostsee. Ihre Wanderungen führen sie bald mit, bald gegen den Wind, gelegentlich auch bei anders gerichteter Luftströmung aus und lassen hinsichtlich der Frequenz sowohl im Frühling wie im Herbst in sich abgeschlossene Perioden während des Durchzuges erkennen. Getrennte Wanderungen nach dem Geschlecht bringt der Frühjahrszug, wo in der Hauptperiode vorwiegend melodisch und laut singende Männchen, in der Schlussperiode nur flüchtig durchreisende und lockende Weibchen auftreten.

Bei der Wanderung im Herbst, und sehr wahrscheinlich gilt dasselbe für den Frühjahrszug, nur in umgekehrter Richtung, zeigen die Rotkehlchen zwei verschiedene Zugformen: die breite Front, als ausgedehnte Vogelwelle mit Vor- und Nachhut, wenn sie durch barometrische Minima oder Depressionen veranlasst, über die Ostsee von den dänischen Inseln und Schweden her, zu uns wandern und die unregelmässige Strichbewegung, welche sie namentlich während der Lokalisation in einem grösseren Ländergebiet ausführen. Hierbei müssen sie nach den verschiedensten Himmelsrichtungen

und deshalb auch unter Benutzung verschieden gerichteter Winde umherstreichen. Wenn im Spätherbst ein Hochdruckgebiet in Ost-Europa sie an unserer Küste in grösserer Zahl rasten lässt, müssen sie diese Strichwanderung wahrscheinlich gegen die vielfach angenommene Herbstzugrichtung Ost-West und gegen den Wind ausführen, denn die unwirtlichen klimatischen Verhältnisse Ost-Europas machen ein Verweilen grösserer Bestände an Rotkehlchen dort unmöglich, sodass man nicht annehmen kann, dass die Rotkehlchen durch das Hochdruckgebiet in Ost-Europa an Ort und Stelle beunruhigt und reiselustig gemacht, von Ost-Russland her mit dem Winde zu uns kommen. Ihr Zuzug wäre andererseits nur noch von Schweden her in der Zugrichtung Nord-Süd, mit halbem Winde segelnd, möglich. Gar nicht selten erfolgt im Spätherbst, bei jener typischen Wetterlage, wo eine Anticyklone oder die Ausbuchtung eines Hochdruckgebietes über Finnland lagert, wie es die beigefügte Wetterkarte vom 12. November 1899 (vgl. Tab. XXII, Fig. 25) veranschaulicht, eine ansehnliche Zuwanderung von Rotkehlchen in der Umgegend Stralsunds bei schwachen bis steifen südöstlichen Winden. Aus Russland, dem Zentrum der Anticyklone, welches sonst Unruhe und Wanderlust bei den Rotkehlchen hervorruft, können diese herbstlichen Wanderer nicht stammen, denn dort sind die klimatischen Verhältnisse eben schon so rauh und winterlich, dass ein Aufenthalt grösserer Mengen von Rotkehlchen unmöglich erscheint. Eine gleiche Rasterscheinung tritt zudem bei uns ein, wenn ausgedehnte Hochdruckgebiete über dem nordatlantischen Ozean ruhen und die Nordsee mit beherrschen. Auch hier können wir annehmen, dass die Rotkehlchen sich gegen den Wind an die Randzone des Hochdruckgebietes verfliegen und dort rasten, denn den endlosen Wasserflächen der Ozeane können sie nicht entstammen und das Meer scheinen sie überhaupt nur zu überfliegen, wenn die gewaltigen Wetterkatastrophen, die mit dem Auftreten barometrischer Minima und Depressionen verbunden sind, sie zu der Reise nach Süden nötigen, wenn die Bahn der Wirbelstürme die Ostsee durchquert und nördlich von ihrem Zentrum, an der schwedischen und dänischen Küste sich rauhe und eisige Polarwinde einstellen, während südlich an den deutschen Küsten die aus Westen wehenden Winde milde, ozeanische Luftströmungen bringen. Namentlich erscheint auch noch die Annahme, dass die Rotkehlchen gelegentlich auf die Hochdruckgebiete zu

und gegen den Wind streichen, deshalb berechtigt, weil in der Zone des mittleren Luftdruckes, wo annähernd 760 mm Druck herrscht, rastende Rotkehlchen nicht wahrgenommen werden, sie müssten, von den Hochdruckgebieten kommend, auch die Länder mit mittleren Barometerstande auf ihrer Durchreise besiedeln. Endgültig ist die Frage, ob die Rotkehlchen an der deutschen Ostseeküste auch beim Vorherrschen barometrischer Hochdruckgebiete stets von Nord nach Süd wandern, und nicht bei diesen charakteristischen Wetterlagen gegen den Wind nach der Randzone des Gebietes höchsten Luftdruckes hinfliegen, nur auf Grundlage eines ausgedehnten Beobachtungsnetzes zu lösen. Hinsichtlich der Zugrichtung ist der Nachweis erbracht, dass die Rotkehlchen während des Herbstdurchzuges aus Norden zu uns an die rügensche Küste kommen und in der Richtung Nord-Süd über Rügen nach Neuvorpommern hineinwandern. Die Vogelwellen, welche sie namentlich im Anschluss an jene Gruppe von Cyklonen, welche die Ostsee durchqueren, zu uns bringen, verlaufen demnach senkrecht dazu, von Westen nach Osten ausgebreitet und müssen einen ausserordentlich lockeren und weiträumigen Verband der Wandervögel zeigen, weil die Rotkehlchen sogleich beim Landen an der Küste nicht in Gesellschaftsflügen, sondern auch hier schon weiträumig verteilt auftreten. Die Frequenz der auf dem Durchzuge rastenden Rotkehlchen ist sowohl bei der Frühjahrs- wie auch bei der Herbstwanderung eine nach gesetzmässigen Abstufungen wechselnde und lässt deutlich in sich und stufenweise gegen einander abgegrenzte Wanderperioden erkennen, von denen die Hauptperiode im Herbst am auffallendsten hervortritt, sie bringt den ansehnlichsten Bestand an Rotkehlchen und lässt sie mehrere Wochen in den Ländern, welche die westliche Ostsee umgeben, rasten und umherstreichen. Diese Erscheinungen sind nur auf allgemeine, klimatische Ursachen, welche sich in gewissen Provinzen des Rotkehlchen-Brutgebietes geltend machen, zurückzuführen. Linde, westliche Winde, welche vom Ozean her feuchte und warme Luft dem westlichen Ostseegebiet zuführen, wo der Oktober eine monatliche Durchschnittstemperatur von 8—9° C. hat, während in Moskau nur noch 4,3°, in Petersburg 4,5°, in Helsingfers 5,2°, in Ulnaborg 2,8°, in Archangel 1,4° und in Kola —0,4° C. mittlere Oktobertemperatur[1]) vorhanden sind. Im euro-

[1]) Julius Hann, Handbuch der Klimatologie III. Bd. 2. Abt.

päischen Russland, Finnland, Nord-Schweden und Lappland herrschen demnach bereits im Oktober Wärmegrade, die weit geringer sind wie die unserer Heimat, schnell erfolgt dort, zum Teil bereits im September, die herbstliche Abkühlung und schnell bricht die winterliche Jahreszeit herein, sodass die Rotkehlchen bereits im September und namentlich im Oktober aus jenen Teilen ihres Brutgebietes und offenbar auch aus den höher liegenden Waldgebieten Schwedens und Norwegens, wo die Höhenlage einen gleichen klimatischen Umschwung herbeiführt, nach klimatisch günstigeren Ländergebieten, wie es eben im Bereiche der westlichen Ostsee im Oktober der Fall ist, verdrängt werden. Wie schnell die Abkühlung im Herbst im europäischen Russland erfolgt, zeigt eine Zusammenstellung derjenigen Tage, an denen durchschnittlich der erste winterliche Schneefall, der erste Frost und zum ersten Male selbst mittags 1 Uhr Frost beobachtet wird.[2])

| | Erster Schnee | Erster Frost | Frost mittags 1 Uhr |
|---|---|---|---|
| Jekatarinenburg . . . | 18. September | 21. September | 11. Oktober |
| Kem . . . . . | 1. Oktober | 28. „ | 22. „ |
| Archangel . . . . | 2. „ | 26. „ | 19. „ |
| St. Petersburg . . . | 11. „ | 15. Oktober | 4. November |
| Moskau . . . . . | 10. „ | 7. „ | 28. Oktober |
| Dorpat . . . . . | 21. „ | 7. „ | 5. November |
| Riga . . . . . | 23. „ | 23. „ | 13. „ |

Der Einbruch der winterlichen Jahreszeit, welche sich in dem Kontinental-Klima Russlands so frühzeitig geltend macht, wird besonders durch die Ausbildung und Einwirkung der grossen sibirischen Winter-Anticyklone, welche bereits im Oktober ihre westlichen Ausläufer über den Ural hinaus gelegentlich bis nach Zentral-Europa vorschiebt, veranlasst, der Winter rückt dadurch ausserordentlich früh und schnell von Ost nach West vor und beherrscht in kurzer Zeit den grössten Teil des europäischen Russlands, wodurch sicherlich ein Teil der dort brütenden Rotkehlchen ebenfalls von Ost nach West, nach Deutschland, Dänemark und den Küsten-

[2]) Woeikof, Die Klimata der Erde. 1. Teil.

und Niederungsgebieten der skandinavischen Halbinsel verdrängt wird, denn das Uralgebirge, die östliche Grenzlinie des Rotkehlchen-Brutgebietes, führt in seinen Hängen 7—8 Monate lang Schnee und wird dadurch gleichzeitig zu einer natürlichen Wanderscheide mancher europäischen Vogelarten, während die südrussischen Steppenländer nur in den Flusstälern, die ebenfalls ein verhältnismässig rauhes Klima aufweisen, günstigere Gelegenheit für den Durchzug solcher Wandervögel bietet, die in dicht geschlossenen Reisegesellschaften vereinigt, auf jenen Heerstrassen fortziehen. Ein gewisser Teil der in Nord- und Ost-Russland brütenden Rotkehlchen wird sicherlich nach Süden dem Vorrücken der unwirtlichen winterlichen Jahreszeit ausweichen, die Täler der südrussischen Steppenflüsse als Heerstrasse, allerdings in loserem Verbande, benutzen und die Wintervögel stellen, welche in Turkestan den Wiedereintritt milder klimatischer Verhältnisse abwarten. Der Eigenart des Rotkehlchens sind indessen bei der Herbstwanderung die milden Gebiete Zentral-Europas in geographischer und klimatischer Hinsicht anpassender, wie die Steppenländer Süd-Russlands, denn das grosse Tiefdruckgebiet, welches sich bereits im September bei Island bildet und an Umfang zunehmend, bald den nordatlantischen Ozean beherrscht, versorgt im Verein mit dem im Herbst über Südwest-Europa so andauernd auftretendem Hochdruckgebiet den nordwestlichen und einen ausgedehnten Bezirk des zentralen Teiles unseres Kontinentes mit den Segnungen des milden Seeklimas, mit warmer, feuchter Luft, wodurch gleichzeitig der Blätterwurf der Laubbäume in den Küstengebieten auffallend verzögert wird. Diese klimatischen Verhältnisse sind in ihrer Gesamtheit sehr wohl geeignet, die allmähliche Zuwanderung von Rotkehlchen für September und Anfang Oktober in den Küstenländern der skandinavischen Halbinsel, auf den dänischen Inseln, auf Jütland und in allen geeigneten Landstrichen Zentral-Europas, als Zugerscheinung aus nordrussischen Brutgebieten und aus den Bergwäldern der skandinavischen Halbinsel zu erklären. Und wenn dann jene gewaltige, nordatlantische Herbst-Deppression barometrische Minima abschnürt und Wirbelstürme entstehen lässt, deren Bahnen die Ostsee durchqueren, dann erfolgt im Oktober jene charakteristische Herbstwanderung in Wellenform, welche die Rotkehlchen in der Richtung Nord-Süd von Schweden und Dänemark in Massen an die deutsche Ostseeküste führt.

In der zweiten und dritten Herbstwanderperiode verweilen dann noch über die erste grosse Oktober-Anhäufung hinaus diejenigen Rotkehlchen bei uns, welche Brutgebieten mit niedrigen Durchschnittstemperaturen entstammen, bis schliesslich bei Eis und Schnee sich noch gelegentlich einzelne Vögel, Wintergäste aus arktischen Gebieten, bei uns zur Durchwinterung niederlassen. Etwas anders liegen die Verhältnisse bei dem Frühjahrsdurchzuge und der Besiedelung der Rotkehlchen; neben den allgemeinen meteorologischen Erscheinungen, welche durch bestimmte Wetterlagen ebenso wie im Herbst Rasterscheinungen und Wanderflug beeinflussen und gewissen lokalen Witterungs-Phänomenen, welche eine vorübergehende Hemmung des Rotkehlchen-Zuges bedingen können, spielen hier der Sexual-Charakter und die allgemeinen klimatischen Verhältnisse bei der Frühjahrs-Erwärmung eine wichtige Rolle. Im April, zur Zeit des Hauptdurchzuges ist die Erwärmung an der Nordsee und an der westlichen Ostsee soweit vorgeschritten, dass winterlicher Schneefall und Frost nicht mehr von grosser Bedeutung sind. In Ostende fällt der letzte Frost durchschnittlich auf den 23. März, in Kopenhagen auf den 11. April, in Skagen auf den 15. April, in Upsala dagegen auf den 23. Mai. Die mittlere Monatstemperatur für April beträgt für Riga 4,7° C., Dorpat 3,2°, Moskau 3.4°, Petersburg 2,1°, Uleaborg 0,1°, Helsingfors 1,1°, Archangel —1,3° und für Kola —1,9° C. Die Temperaturverhältnisse in den schwedischen Bergländern und in Nordost- und Ost-Europa liegen im April weit hinter den unseren zurück, [Berlin, mittlere Monatstemperatur für April 7,9° C., Köslin 5,9°, Swinemünde 6,0°, Putbus a. R. 5,7°, Rostock 6,8°, Lübeck 7,0°, Kiel 7,0°, Kopenhagen 5,6°, Hamburg 7,6° und Helgoland 6,4°.] und bedingen die grosse Anhäufung und Lokalisation von Rotkehlchen von Ende März bis Mitte April in unserer norddeutschen Heimat. Die Windverhältnisse, vorwiegend und oft anhaltende Nord- und Ostwinde bei hohem Luftdruck, verlangen unbedingt die Annahme, dass die Rotkehlchen zur Frühjahrszeit im Gebiete der Ostsee gar nicht selten gegen den Wind wandern.

Die ersten Wanderer sind einzeln durchziehende Männchen, welche morgens zwecks Nahrungsaufnahme den Wanderflug unterbrechen und landen, in den Vormittagsstunden in die Wipfel hoher Baumkronen emporsteigen und von dort aus die Reise fortsetzen. Unter ihnen befinden sich

ausgezeichnete Sänger und nicht selten die bei Liebhabern in hohem Wert stehenden Wipfelsänger. Die Hauptperiode beim Frühjahrsdurchzuge bringt ebenfalls vorwiegend Männchen, die durch ihren Gesang nicht minder erfreuen, die aber längere Zeit, 8—14 Tage bei uns, meist an derselben Örtlichkeit und zu jeder Tageszeit verweilen. Durchreisende Weibchen veranlassen Paarung, Fortsetzung des Frühjahrsdurchzuges und Besiedelung des bestimmten Brutgebietes. Dann folgen zum Schluss Ende April und in den ersten Maitagen Weibchen, welche an der deutschen Ostseeküste in den Nachmittags- und Abendstunden rasten und nach nördlichen Gegenden flüchtig durchwandern, offenbar um die dort zu dieser Zeit, Ende April und Anfang Mai noch weilenden Männchen abzuholen und arktische oder östliche Brutgebiete zu besiedeln.

Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass der erste Anlass für die Wanderungen der Rotkehlchen ein klimatischer ist, dass wir den Rotkehlchen einen „Wärmesinn“ zusprechen müssen, der im Herbst den Wanderern den Zeitpunkt normiert, wann sie ihr Brutgebiet verlassen und wann sie ihren vorübergehenden Aufenthalt bei der Durchreise durch Mittel-Europa abbrechen müssen und der bei der Frühjahrs-Erwärmung sie in gleicher Weise vom Mittelmeergebiet mit der fortschreitenden Wärmewelle langsam nach nördlichen Gegenden vorrücken lässt. Die Wanderungen des Rotkehlchens ähneln demnach den Vegetationserscheinungen in der Pflanzenwelt. Wie sich die Laubentfaltung und der Eintritt der Blütezeit bei den einzelnen Pflanzenarten an bestimmte Temperaturen bindet und die Vegetation sich mit der nördlich fortschreitenden Wärmewelle langsam nach Norden und nach den Bergeshöhen hinauf ausdehnt, so bindet sich auch Frühjahrsdurchzug und Lokalisation, Paarung und Besiedelung des Rotkehlchens an einen bestimmten Temperaturgrad.

Die graphische Darstellung der Jahrestemperaturkurve für Stralsund und der einzelnen Wandertermine und Wanderperioden, wie sie für Frühjahrs- und Herbstdurchzug ermittelt sind (vgl. Tab. XXII, Fig. 26), zeigt, dass für Stralsund der Frühjahrsdurchzug, welcher Ende Februar oder Anfang März mit vereinzelt auftretenden Männchen beginnt, bei $+1^{\circ}$ C. anhebt und Ende April oder Anfang Mai, wenn die letzten Weibchen flüchtig durchreisen, bei $9—10^{\circ}$ C. mittlerer Tagestemperatur schliesst und dass die Frühjahrs-Massen-

wanderung, durch doppelt schraffierte Felder veranschaulicht, von Ende März bis über Mitte April hinaus andauert und bei dem Temperaturintervall von + 3 bis 7° C. stattfindet. Während der Frühjahrsdurchzug und die dabei eintretende Lokalisation und Besiedelung bereits einen ansehnlichen Zeitraum von 8—9 Wochen beansprucht, verlangsamt sich der Herbstdurchzug noch erheblich mehr auf 12—14 Wochen Durchzugsdauer. Hier vollziehen sich die Massenwanderung im Oktober und die starke Wanderung im November in einem Zeitraume, wo die Herbstabkühlung das Temperaturintervall von +11° C. bis zu +2° C. herab durchläuft, während die schwache Schlusswanderung erst bei 0° aufhört. Die 0°-Isotherme wird demnach für Europa die Grenze angeben, welche im Herbst und Winter die letzten, vereinzelt umherstreichenden Nachzügler allmählich nach Süden über unseren Kontinent zurückdrängt. Die 0°-Isotherme für Januar[3]) zeigt zudem eine auffallende Abzweigung über der westlichen Ostsee (vgl. Tab. XXII, Fig. 27) und dieser Umstand erläutert die Tatsache, dass in Neuvorpommern Mecklenburg, Schleswig-Holstein und in West-Deutschland gar nicht selten überwinternde Rotkehlchen angetroffen werden.

Da sich zur Herbstzeit der Hauptdurchzug während des Wärmeintervalles von 5—10° C. vollzieht, darf man voraussetzen, dass zur Winterszeit solche Länderstrecken von den Rotkehlchen bewohnt werden, welche diese Wärmeverhältnisse aufweisen, und in der Tat zeigt der Isothermengürtel zwischen 5 und 10° C. annähernd die Gebiete, West-Europa, die Mittelmeerländer bis nach Turkestan, welche dem Rotkehlchen als Winterherberge dienen, dazu kommt allerdings noch der Nordrand Afrikas (vgl. Tab. XXII, Fig. 27). Die Hauptwanderung im Frühlung vollzog sich in Stralsund während des Zeitraumes, wo die Frühjahrserwärmung von +3° C. bis zu +7° C. emporstieg und man kann mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auch in den übrigen Ländergebieten Europas der Frühjahrsdurchzug und die Besiedelung des Rotkehlchens sich in demselben Wärmeintervall vollzieht. Zwecks näherer Prüfung dieser Annahme sind in der beigefügten Abbildung (vgl. Tab. XXII, Fig. 29) die Jahres-Temperaturkurven für Januar bis Juni für eine Reihe von Orten dargestellt und das

[3]) Börnstein, Leitfaden der Wetterkunde. Braunschweig 1901. Taf. II.

Intervall von 3—7° C. besonders gekennzeichnet. Für Ungarn (Budapest), fällt danach der Eintritt des Hauptdurchzuges auf Mitte März und währt bis Anfang April. In der Tat ist in den Zusammenstellungen von Schenk[4]) der mittlere Ankunftstermin auf den 15. März festgelegt, von den 19 Ankunftsdaten fallen 15 in die Zeit vom 15. März bis 8. April, und nur 4 etwas früher. In Mariahof, an der steirisch-kärnthnerischen Grenze, erfolgt die Ankunft nach Franz Kriso Anfang März, den gleichen Termin liefert die Temperaturkurve der benachbarten Stadt Wien. In Braunschweig erfolgt die Ankunft nach R. Blasius[5]) Ende Februar bis Mitte März — die Temperaturkurve liefert als Eintrittspunkt des Frühjahrs-Hauptdurchzuges den 8. März. In Helgoland sind nach den Aufzeichnungen von Gätke[6]) die Rotkehlchen bereits in der ersten Märzhälfte häufig und noch den ganzen April über sehr zahlreich — die Temperaturkurve für Helgoland lässt die Hauptwanderung am 1. März beginnen und in der zweiten Aprilhälfte aufhören. Die Helgoländer Kurve zeigt unter dem Einfluss der durch das Seeklima verlangsamten Frühjahrs-Erwärmung einen weniger steilen Verlauf und zeigt dadurch auf einen fast zwei Monate währenden Hauptdurchzug hin, welcher durch die Beobachtungen Gätkes vollauf bestätigt wird. In Christiania erfolgt die Ankunft nach Kraus[7]) in der zweiten Aprilhälfte bis Anfang Mai, in demselben Zeitraum, der von dem Temperaturintervall für Christiania beansprucht wird. Für den südlichsten Punkt, Mailand und den nördlichsten, Hammerfest, welches allerdings schon über den 68° n. Br. hinaus liegt, wo aber wegen des milden Seeklimas Sommervögel, die vielleicht nicht mehr zur Brut schreiten, zu erwarten sind, waren leider keine Zugdaten aufzufinden. Nach dem Verlauf der Temperaturkurven ist in der norditalienischen Tiefebene der Eintritt der Zugbewegung schon vor Mitte Februar zu erwarten und kann bis Anfang März anhalten, während die nördlichsten Brutgebiete des Rotkehlchens erst von Mitte Mai an Frühjahrszug und Besiedelung zeitigen dürften. Auch für die Rauchschwalbe ist bereits von A. Angot[8]) die graphische

[4]) R. Schenk, Der Vogelzug in Ungarn während des Frühjahrs 1898.
[5]) R. Blasius, Die Vögel des Grossherzogtums Braunschweig.
[6]) Gätke, Die Vogelwarte Helgoland.
[7]) Krauss, Von der Ostsee bis zum Nordkap. S. 252.
[8]) A. Angot, Aquila VI, 1899. S. 54.

Darstellung der Ankunft der Rauchschwalbe in Frankreich (1881—1900) gebracht und die Bedeutung der fortschreitenden Frühjahrs-Erwärmung festgelegt und in O. Hermann, „Vom Zuge der Vögel auf positiver Grundlage“ (S. 6, Untersuchungsergebnisse von Hegysoky) auf die Bedeutung einer bestimmten Wandertemperatur und auf die Ausbreitung der Rauchschwalbe mit dem Vorrücken der 9,4°-Isotherme nach Norden hin hingewiesen worden. Für das Rotkehlchen hat Häcker[9]) bereits auf die Abhängigkeit der Frühjahrs-Wanderungen in Württemberg und Baden von der Erwärmung durch Föhnlagen aufmerksam gemacht und gleiche Wirkungen der Frühjahrs-Erwärmung bei den Wanderungen einiger anderer Vogelarten festgestellt.

Die Temperaturverhältnisse sind als einleitende Ursachen für den Rotkehlchenzug angesprochen und die unter dem Einfluss der Jahreszeiten sich im Frühjahr nordwärts, im Herbst südwärts über den europäischen Kontinent fortschiebenden Wärmewellen als jeweiliger Anlass des Durchzuges und der vorübergehenden Besiedelung bestimmter Gebietsteile Europas herangezogen worden. Diese Tatsachen erscheinen ausreichend gesichert, um mit ihrer Hülfe eine Hypothese für die Frühjahrs- und Herbstwanderungen des Rotkehlchens aufstellen zu dürfen, welche den Eintritt, die Dauer, die Richtung und die Wege des Rotkehlchenzuges für den europäischen Kontinent in allgemeinen Zügen veranschaulicht. Dabei sind von vornherein gewisse geographische und klimatische Erscheinungen als hemmend und als ablenkend zu bezeichnen, das gilt unter anderem von allen Hochgebirgen und weiten, baumlosen Ebenen, von der Kälte-Insel, die sich in der norditalienischen Tiefebene geltend macht, von den Meeresküsten zwischen dem 35 und 60° n. Br., wo hinsichtlich der Temperatur die Abweichungen der Monatsmittel von dem feststehenden Mittelwert der Monats-Isothermen viel geringer sind, wie in den gleichen Breiten der kontinentalen Ländermasse (Hann, Handbuch der Klimatologie I, 142), wodurch sich in Ländern mit Seeklima der Durchzug gleichmässiger und wegen der Verlangsamung der Temperatur-Änderungen auch andauernder wie in solchen mit Kontinentalklima gestalten muss, das gilt auch von den grossen Meeresbecken und anderen Faktoren mehr.

---

[9]) Häcker, Föhn und Vogelzug. Zool. Gesellschaft 1900.

Bei dem Frühjahrsdurchzuge trafen in Neuvorpommern die ersten, meist so spärlich auftretenden Rotkehlchen, dass sie von manchem Beobachter überhaupt übersehen werden dürften, zu dem Zeitpunkte ein, wo die Mitteltemperatur + 1° C. beträgt. Die 0°-Isotherme wird demnach die Polargrenze abgeben, welche die Wanderer bei ihrem Zuge nach Norden nicht überschreiten und der Zwischenraum je zweier derartiger Isothermen, für Monatsanfang und Monatsmitte dem Kartenmaterial von H. Hildebrandsson in Berghaus: Physikal. Atlas, Blatt 30 entnommen, die Ländergebiete umfassen, wo sich die ersten, spärlichen Frühlingsboten flüchtig niederlassen (vgl. Tab. XXII, Fig. 28). Am 1. Februar ist nach der Lage der 0°-Isotherme West-Europa für die Einkehr der ersten Wanderer geöffnet. Die 0°-Isotherme ist zu dieser Zeit rechtwinklig gebogen, der eine Schenkel verläuft Nord-Süd von der Westküste Norwegens bis in die Gegend des Genfer Sees, der andere West-Ost von hier zur Mitte des Kaspischen Meeres und da die 0°-Isotherme bis zum 1. März in ähnlicher Anordnung fortschreitet, erfolgt die erste Zuwanderung in Nord-Deutschland, Dänemark und Süd-Schweden in der Richtung von West nach Ost, in den Donauländern und am Schwarzen Meer dagegen in der Richtung von Süd nach Nord. Vom 1. April ab rückt die winklig gebogene 0°-Isotherme ziemlich gleichförmig von Süd nach Norden vor und verleiht der Zugrichtung der ersten Frühlingswanderer nunmehr vorwiegend dieselbe Süd-Nord-Richtung, aber ein wenig nach Osten abgelenkt.

Ähnlich auch müssen sich die Verhältnisse bei der Frühjahrs-Hauptwanderung gestalten, welche sich bei dem Wärme-Intervall von 3—7° C. vollzog, sodass man als Mittel 5° C. für den Massen-Durchzug annehmen und das Vorrücken der 5°-Frühlings-Isotherme[10]) als brauchbares Anschauungsmittel für die Ausbreitung der wandernden Rotkehlchen nach Norden hin benutzen kann (vgl. Tab. XXI, Fig. 15). Als Winterherberge, von wo aus die Frühlings-Wanderung einsetzt, kommt das Vegetationsgebiet der mittelländischen Waldregion in Betracht, also Süd-Frankreich, die drei südeuropäischen Halbinseln, von den nordafrikanischen Ländern der bewaldete Küstensaum von Marokko, Algier und Barka, die Waldgebiete Kleinasiens und

[10]) Diese und die folgenden Isothermen-Karten sind entnommen aus: Dove, Die Verbreitung der Wärme. Berlin 1852.

Palästinas. Dem Fluge in breiter Front nach den nördlichen Brutrevieren stellen sich starke Hindernisse entgegen, welche ablenkend auf die Zugrichtung wirken und die Rotkehlchen, die, ihrem biologischen Charakter nach, der Massenanhäufung zu Gesellschaftsflügen und vielköpfigen Wanderscharen abhold sind, auf gewissen Strecken in grösserer Kopfzahl anhäufen müssen, die Pyrenäen und Alpen lassen nur die breite Durchgangspforte über die südfranzösische Mittelmeerküste offen, die durch den Gebirgszug der Savennen in eine östliche „Rhonestrasse", welche die Wanderer von Süd nach Nord führt und in eine westliche „Garonnestrasse", welche sie nach Nordwesten auszubreiten vermag, getrennt wird.[11]) Alpen und Karpathen zwingen die Wanderer in die Donau-Niederung hinein und der Kaukasus lässt nur jene schmalen Uferzonen am Schwarzen und am Kaspischen Meer frei, welche vom mittelländischen Waldgebiet bedeckt sind. In Südost-Europa bildet das russische Steppengebiet wegen seines ausserordentlichen Umfanges ein ganz allgemeines Hindernis für den Durchzug in breiter Front, hier kann sich die Wanderung nur heerstrassenartig aber jedenfalls ohne dicht geschlossene Fluggesellschaften im Bereiche der bewaldeten und bebuschten Uferzonen der Steppenflüsse gestalten. Auch muss der Durchzug wegen des schnellen Vorrückens der 5°-Isotherme viel schneller wie in West-Europa erfolgen. In Nord-Europa hemmen die skandinavischen Alpen den Durchzug in breiter Front, hier ist eine schmale Wanderstrasse an der norwegischen Küste zu erwarten, welche die Rotkehlchen nach den bewaldeten Flusstälern Norwegens benutzen dürften und eine breitere Bahn an den Ostseeküsten entlang, auf welcher die Wanderer wohl ausschliesslich die nordischen Brutreviere erreichen dürften. Ausgeschlossen von der Frühlings-Besiedelung bleiben in Nord-Europa Island aus klimatischen, geographischen und namentlich aus floristischen Gründen, und die Tundren-Gebiete im Bereiche des Weissen Meeres und des nördlichen Eismeeres.

Mit dem Vorrücken der 5°-Isotherme im Februar macht sich die Frühjahrs-Hauptwanderung zunächst nur in West-Europa geltend: Frankreich, Südwest-England und Irland werden in der Zugrichtung Süd-Nord-Nordwest

---

11) Dieser Gang der Frühjahrsbesiedelung ist auch aus den Abbildungen zu A. Angot: Resumé des études sur la marche des phenomènes de végétation et la migration des oiseaux pendant les années 1881—1900, Aquila VI, 1899, für die Wanderungen der Rauchschwalbe in Frankreich erkenntlich.

mit grösseren Massen von wandernden Rotkehlchen vorübergehend besiedelt, welche unter dem Einfluss bestimmter meteorologischer Ursachen in dem Isothermen-Gürtel von 3—7° C. hin- und herstreichen, bald in dem einen Teil der eben genannten Länder auftreten, bald nach einem anderen Teil sich verfliegen. Im März breiten sich diese Wanderer in der Richtung Südwest-Nordost über England, die Niederlande und West-Deutschland aus, während von Italien und der Balkan-Halbinsel her durch die Niederungen zwischen Alpen und Karpathen Süd-Deutschland und Österreich und gleichzeitig Ungarn, Rumänien und Bulgarien besiedelt werden und sich die ersten Wanderbewegungen an den Küsten des Schwarzen und Kaspischen Meeres bemerkbar machen. Im April erfolgt eine sehr ausgebreitete Wanderung vorwiegend in der Süd-Nordrichtung, wodurch West-Norwegen, Dänemark, Süd-Schweden, Ost-Deutschland, die russischen Ostseeprovinzen und der mittlere Teil Russlands mit Rotkehlchen besetzt werden, welche nun schnell nordwärts wandern, im Mai das mittlere Skandinavien, Finnland und Nord-Russland erreichen, während die Rotkehlchen, welche den hochnordischen Gebieten angehören, erst im Juni an Ort und Stelle eintreffen dürften, sehr wahrscheinlich, ohne in den entlegensten Bezirken zu brüten. Die beigefügte Kartenskizze veranschaulicht neben den erwähnten geographischen Hindernissen, welche hemmend und ablenkend auf den Frühjahrsdurchzug einwirken müssen, das Vorrücken der 5°-Frühlings-Isotherme und die wellenförmig in breiter Front sich über Europa fortbewegende Frühjahrs-Wanderung, angezeigt durch kleine mit der Zugrichtung fliegende Pfeile, welche sinngemäss nur das langsame Vorrücken der Wanderung, nicht die verschiedenen Flugrichtungen angeben, welche die Rotkehlchen innerhalb des ihnen zusagenden Isothermengürtels von 3—7° C. unter dem Einfluss meteorologischer und klimatischer Faktoren ausserdem ausführen. An gewissen Landbezirken, welche an grössere Meeresgebiete grenzen, müssen stärkere Anhäufungen wandernder Rotkehlchen erwartet werden, so Mitte März an der Ostküste Englands, Ende März und Anfang April an der deutschen Nord- und Ostseeküste und in Dänemark, Ende April oder Anfang Mai in der Gegend von Petersburg.

Der Herbst-Durchzug vollzog sich bei dem Wärme-Intervall von 11—2° C., die Massenwanderung im Oktober an der deutschen Ostseeküste

bei durchschnittlich 7—8° C., sodass man den Rückgang der 7,5°-Herbst-Isotherme als Anschauungsmittel für den Gang der Herbstwanderung verwenden kann (vgl. Tab. XXI, Fig. 16). Im Juli und August fallen die 7,5°-Monats-Isothermen fast zusammen, erst im September rückt sie südwärts herunter, in Ost-Russland so stark, dass sie bereits den Nordrand des südrussischen Steppengebietes erreicht, wodurch die Wanderbewegung in Nord- und Mittel-Skandinavien, sowie in Nord- und Ost-Russland eingeleitet wird. Dem Gange einer Welle ähnlich, welche bei dem Vorrücken nach Süden durch Aufnahme der nord- und mitteleuropäischen Vögel immer stärker und zahlreicher an Individuen wird, schieben sich die Herbstwanderer vorwiegend in der Nord-Süd-Richtung, an verschiedenen Stellen des europäischen Kontinents aber auch in der Richtung Nordost-Südwest, über unseren Kontinent langsam vorwärts, wobei sie wiederum unter dem Einfluss meteorologischer und klimatischer Faktoren im Bereiche des ihnen zusagenden Isothermen-Gürtels hin und her verfliegen, die Hauptzugrichtung hingegen muss im allgemeinen senkrecht zum Verlauf der Isothermen-Kurve gerichtet bleiben. Die Hemmungen und Ablenkungen durch schneegekrönte Hochgebirge, durch ausgedehnte Meeresgebiete und durch Steppenflüsse sind aus der Kartenskizze ersichtlich. Berückischtigt man indessen eingehender den geographischen Aufbau unseres Kontinents, die Verteilung von Hochgebirgen und von ausgedehnten, weiträumigen Flusstälern, so muss auch im Herbst zwischen Karpathen und Alpen und zwischen Westalpen und Pyrenäen eine starke Anhäufung wandernder Rotkehlchen eintreten und dazu führen, dass das Weichsel-Donau-Theissgebiet und die Rhein-Rhone-Niederungen als „Fluss-Wanderstrassen“ angesprochen werden, aber nicht in dem Sinne, dass die Rotkehlchen einzig und allein diese engbegrenzten Gebiete den Flussläufen nach durchziehen. Stärkere Anhäufungen wandernder Rotkehlchen sind im September in Finnland, im Oktober in Süd-Schweden, im November in England und dem Rheingebiet und im Dezember in Irland und Süd-Frankreich zu erwarten, bis schliesslich die Wanderscharen in der Region des mittelländischen Waldgebietes, vom atlantischen Ozean bis zu den unwirtlichen Steppenländern West-Asiens, auf den drei südeuropäischen Halbinseln, in Marokko, Algier und Barka, sowie in Kleinasien und Palästina bis zum Februar zur Ruhe gelangen.

Die letzten, vereinzelten Nachzügler, welche gelegentlich in Mittel- und West-Europa überwintern, werden vor der Kälte und dem winterlichen Schneefall flüchtend, dem Gange der 0°-Winter-Isotherme entsprechend, im wesentlichen nach West-Europa gedrängt (vgl. Tab. XXI, Fig. 17). Im Oktober sind spärliche Wanderreste in Mittel-Skandinavien, Finnland, in Mittel- und Süd-Russland, im November in Süd-Schweden, West-Russland und am Schwarzen Meer, im Dezember in Dänemark und Deutschland bis nach Ungarn hinab und im Januar in West-Deutschland und Frankreich zu erwarten. Schon im folgenden Monat, im Februar, beginnt alsdann das Vorrücken vereinzelter Rotkehlchen nach nördlichen und östlichen Gebieten, wie es in der voraufgehenden Kartenskizze bereits bei der Einleitung der Frühlings-Wanderung veranschaulicht ist.

Blicken wir zurück, so war es die Wärme-Änderung, die durch den ausgebildeten Wärmesinn, durch ein gut entwickeltes Empfindungsvermögen für Veränderungen im allgemeinen Gange der Mitteltemperaturen, die Rotkehlchen zuerst im Frühling und Herbst zur Ortsveränderung veranlasste, und es waren alsdann jene drei typischen Wetterlagen, welche im Frühling Erwärmung, im Herbst Abkühlung in Mittel-Europa verursachen und welche deshalb die Rotkehlchen-Wanderungen an der deutschen Ostseeküste hervortreten lassen; Wirbelstürme, welche die Ostsee durchqueren, Hochdruckgebiete in Nord-, Nordost- oder Ost-Europa und das Zentrum einer abgerundeten Anticyklone. Die barometrische Höhe des Luftdruckes kann keineswegs den Anlass der Wandererscheinungen abgeben, um als veränderliche Druckgrösse sinnlich von den Rotkehlchen wahrgenommen, folgerichtig bei den Zugbewegungen verwertet zu werden, denn Cyklone und Anticyklone sind in dieser Hinsicht Gegensätze und wir dürften Rotkehlchen dann stets nur auf dem Zuge bei niedrigem Luftdrucke in der Erdnähe bei uns vorüberwandern und rasten sehen, während sie bei jedem barometrischen Hochdruck hoch über uns, in unsichtbarer Höhenwanderung regelmässig über uns fortziehen mussten. Dies widerspricht aber dem angesammelten Beobachtungsmaterial und den Erfahrungen bei Ballonfahrten. Dagegen haben jene drei typischen Wetterlagen eine klimatische Wirkung gemeinsam, die Erniedrigung der Temperatur zur Herbstzeit und die Abkühlung ausgedehnter Ländergebiete. Wenn das Wirbelsturm-Zentrum die Ostsee durchquert, erhält das Gebiet

nördlich vom Zentrum, also das mittlere und südliche Schweden kalte polare Luft von den skandinavischen Alpen und aus Nordost-Europa. Wenn Hochdruckgebiete im Norden oder Osten unseres Kontinentes vorherrschen, bringen nördliche oder östliche Winde die kalte Luft jener Gegenden nach Mittel-Europa und wenn sich eine Anticyklone zur Herbst- oder Winterszeit bei uns herausbildet, erzeugt sie Temperatur-Erniedrigung an unserer Ostseeküste, und dabei oft sonnige Tage mit kühlen Lüften.

Wie sehr jene Wetterlagen und die damit verbundene Abkühlung zur Herbstzeit auf die Erscheinungen des Rotkehlchenzuges einwirken, zeigt das meteorologische Kartenmaterial vom 8. und 9. Oktober 1903 (vgl. Tab. XXI, Fig. 20 u. 21). Am 7. Oktober 1903 morgens lag das Minimum noch über Süd-Schweden, südöstlich über die Ostsee fortschreitend. Damals meldeten Bodö 0° und Haparanda 2° Wärme, während Kopenhagen 12° und Swinemünde 14° hatten. Als sich am 8. Oktober das Hochdruckgebiet in Nord-Skandinavien ausbildete und kalte Luft nach Süden abfluten liess, hatte Bodö −3°, Haparanda −7°, Stockholm Schneefall bei +1°, Kopenhagen noch 9° und Swinemünde noch 10° Wärme. Die Kältewelle, welche sich von Norden her über Schweden ergoss, verdrängte die Rotkehlchen dort und führte am 9. Oktober bei Fortbestand und Vergrösserung des nördlichen Hochdruckgebietes viele Rotkehlchen an die pommersche Küste, obgleich im Kanal und an der der südlichen Nordseeküste am 9. Oktober ein Wirbelsturm einsetzte, der sonst die Rotkehlchen-Wanderung in Neuvorpommern und Rügen auszulöschen pflegt. Das Ostsee-Minimum vom 8. Oktober, im Verein mit dem nordischen Hochdruckgebiet hatte durch seine abkühlende Wirkung weit mehr Einfluss geübt, wie das neue Minimum vom 9. Oktober an der südlichen Nordsee, welches Wanderung und Rast nicht aufzuheben vermochte.

Während die Wirbelsturm-Zentren, welche die Ostsee quer durchziehen, auf ihrer Nordseite in Schweden und auf den dänischen Inseln Abkühlung und garnicht selten einen erheblichen Temperatursturz herbeiführen und dadurch zur Herbstzeit die Rotkehlchen südwärts fortziehen lassen, bewirken sie bei der Frühjahrswanderung ebenfalls einen bestimmenden Einfluss auf die Zuwanderung und Lokalisation an der deutschen Ostseeküste, weil sie auf ihrer Südseite gerade umgekehrt, warme milde Luft aus

Südwest- und West-Europa herbeiströmen lassen, welche die Küstengebiete an dem baltischen Meere für die vorübergehende starke Besiedelung mit Rotkehlchen bewohnbar machen. Die Wetterkarten vom 7. und 8. April 1904 (vgl. Tab. XXI, Fig. 22 u. 23) liefern einen klaren Einblick in diese Verhältnisse, sie zeigen, wie sich am 7. April morgens von dem grossen nordatlantischen Tiefdruckgebiet eine Teildepression über der mittleren Ostsee abschnürt und dieses mit stürmischen Westwinden milde Luftströmungen von England nach der westlichen Ostsee führt, während an der pommerschen Ostseeküste südwestliche Winde aus Frankreich und Mittel-Europa Erwärmung bringen. Am 8. April 1904 liefen stürmische Westwinde über die deutsche Ostseeküste und brachten zu dem bereits vorhandenen Bestande an lokalisierten Rotkehlchen eine grosse Zahl von Wandergästen hinzu. Abgeschlossene Hochdruckgebiete, welche von Westen her Europa überwandern, vermögen zur Frühjahrszeit ebenfalls warme Luft von West-Europa her zu uns zu transportieren und bringen alsdann im Verein mit der selten fehlenden, anhaltenden Sonnenstrahlung Erwärmung und lebhafte Zuwanderung von Rotkehlchen und anderen Vogelarten hervor. Typisch für diese Erscheinungen sind der 20. und 21. April 1900, an welchem durch Tagesbeobachtungen an den Leuchttürmen von Kahlberg und Jershöft zahlreiche Rotkehlchen festgestellt wurden. In Stralsund waren Rotkehlchen am 19. und 20. April, am letzteren Tage zogen auch Sing- und Wachholderdrosseln, nachts Goldregenpfeifer, am 21. April 1900 Wanderscharen von Weindrosseln, Wiesenpiepern und Kranichen und nachts Sandregenpfeifer. Diese auffallende Wanderbewegung wurde durch das am 18. April 1900 erfolgte Erscheinen eines Hochdruckgebietes in West-Europa, aus welchem sich eine umfangreiche Anticyklone abschnürte, die sich langsam ostwärts über unseren Kontinent fortbewegte, eingeleitet. Am 20. und 21. April 1900 lag die Anticyklone mit 775 mm Hochdruck über Zentral-Europa und brachte Erwärmung an die Nordseeküste, in das Ostseebecken bis in die Provinz Preussen, am 21. April wurden West-Europa, Nord-Deutschland und die östliche Nordsee und das Ostseebecken abermals erwärmt, wie aus dem Wetterkarten-Material der Hamburger Seewarte hervorgeht.

Dass bei dem Frühjahrsdurchzuge und der Besiedelung weiter Ländergebiete mit Rotkehlchen die fortschreitende Frühjahrs-Erwärmung den wirk-

samen Faktor hergibt, haben, wie bereits weiter oben ausgeführt wurde, auch die Untersuchungen von Häcker: Föhn und Vogelzug. Zoologische Gesellschaft 1904, erwiesen. Die Föhnlage, welche am 19. und 20. März 1904 durch ein Hochdruckgebiet über Baden hervorgerufen wurde, brachte verstärkten Rotkehlchenzug nach Stuttgart, die Föhnlagen am 24. und 25. März 1904 und um Mitte April 1904 eine allgemeine Zuwanderung verschiedener Vogelarten und die Föhnlage am 28. März 1900 rief in Freiburg verstärkten Rotkehlchenzug und Zuwanderung von Weiden-Laubvögeln und Heckenbraunellen hervor. Allerdings kann man über die aufgestellte Hypothese, dass die Frühjahrswanderer durch die warmen Föhnwinde geraden Weges über die schneebedeckten, unwirtlichen Alpenkämme von Nord-Italien nach Baden einwandern, strittig sein, denn beim Aufstieg der Föhnwinde am Südfuss der Alpen kühlt sich die Luft erheblich ab, auf 200 m Steigung um 1° C., sie erreicht die Alpenkämme im stark abgekühlten Zustande und ruft dort schwere Niederschläge, Schnee und Regen hervor und erhält ihre hochgradige Erwärmung erst wieder beim Hineinfluten in die nördlichen Alpentäler, wobei sie sich schon bei 100 m Gefäll um 1° C. erwärmt und in den nördlichen Tieftälern und Ebenen oft höher erwärmt anlangt, wie sie die norditalienische Ebene verlassen hat. Auch andere Gründe sprechen noch dafür, dass die schneebedeckten Alpenkämme mit grosser Wahrscheinlichkeit ein Hindernis für die gradlinige Zuwanderung in der Richtung Süd-Nord darstellen. So die charakteristischen Witterungsverhältnisse mit ihren auffallenden Wetterumschlägen, wodurch die Wandervögel Mittel- und Nord-Europas ziemlich regelmässig und dann in grosser Zahl oben auf den Kämmen und den Alpenhochländern beobachtet werden müssten, denn plötzlich einfallendes Unwetter, sowie Nebel und Schneegestöber zwingen selbst bei uns in der norddeutschen Tiefebene viele Wanderer zur Unterbrechung des Zuges und zur Rast. Auch die Tatsache, dass wandernde Vögel bislang über den Kontinenten nur in mässigen Höhen und stets unter der Wolkendecke beobachtet wurden, spricht gegen das regelmässige Überfliegen der Alpenkämme bei Föhnlagen. Über die Streitfrage des Hochfluges wandernder Vögel sind auch noch F. Helm, Betrachtungen über die Beweise Gätkes für die Höhe und Schnelligkeit des Wanderfluges der Vögel, Journ. f. Ornith. Jahrg. 48, S. 435—452 und Jahrg. 49, S. 289—303, sowie M. Baer,

Beiträge zur Kenntnis der Anatomie und Physiologie der Atmungswerkzeuge bei den Vögeln, Zeitschr. f. wiss. Zoologie Bd. 61, 1896 und P. Bert, La pression barométrique, Ornith. Monatsberichte XI, 1903, S. 97—105, zu beachten. Selbst die eigenartige Frühjahrsbesiedelung Bayerns, wie sie von Gallenkamp[12]) zusammengestellt ist, scheint auf einen Zuzug vom Rhone-Rheingebiet her, auf die Erniedrigung der Mitteltemperatur durch Höhenlagen und auf die Absperrung Bayerns durch die südlich vorgelagerte Alpenkette zu verweisen. Nur einzelne Alpentäler dürften der Vogelwanderung zugänglich sein, im übrigen aber der Vogelzug das gradlinige Überschreiten der hohen Alpenkämme vermeiden.

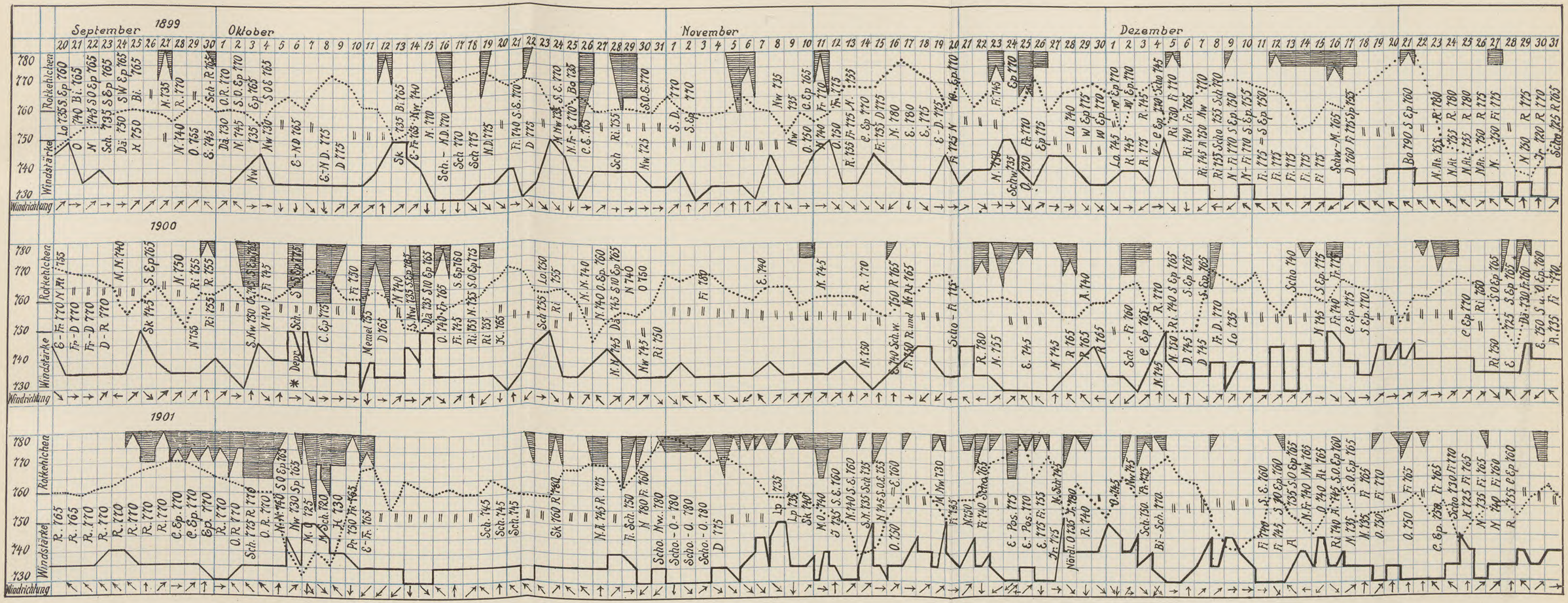
Der direkte Einfluss der Frühjahrs-Erwärmung auf Frühjahrswanderung und Besiedelung ist für eine andere Vogelart, für die Rauchschwalbe bereits von verschiedenen Forschern, worauf wir schon des früheren in dieser Abhandlung verwiesen haben, sehr eingehend untersucht und klargestellt worden, namentlich durch Angot: Resumé des études sur la marche des phénomènes de végétation et la migration des oiseaux pendant les années 1881—90. 1894, durch O. Hermann in Aquila I, 1894 und „Vom Zuge der Vögel auf positiver Grundlage". Aquila 1890 und durch Hegyfoky in Aquila II, S. 111. 1895.

Der Eigenart des Rotkehlchens, welches mit Vorliebe Wald und Buschpflanzungen bewohnt und sich ungern aus der Nähe des Erdbodens erhebt, ist diese Form und Richtung bei den Wanderungen zuzuschreiben. Indessen ist es sehr wahrscheinlich. dass einige andere Vogelarten, die europäischen Drosseln, der Zaunkönig, der Wiesenpieper, die Heckenbraunelle, die beiden Rotschwanz-Arten, die Feldlerche und noch diese oder jene Art, in ähnlicher Weise den Herbst- und Frühjahrszug zur Ausführung bringen. Durch eine bestimmte Höhe der Mitteltemperatur wird die Wanderung eingeleitet, die Wandervögel folgen dann dem Vorrücken oder dem Rückgange ebenso bestimmter Isothermen in breiter Front und werden in den betreffenden Isothermen-Gürtel durch meteorologische Faktoren hin- und hergetrieben. Landvorsprünge der grossen Meere und ausgedehnte Flusstäler zwischen Hochgebirgen werden von ihnen auf dem Durchzuge gelegentlich in grösserer Zahl besiedelt.

[12]) Gallenkamp, III. Jahresbericht d. Ornith. Vereins München für 1901 und 1902. 139 u. 385. München 1903.

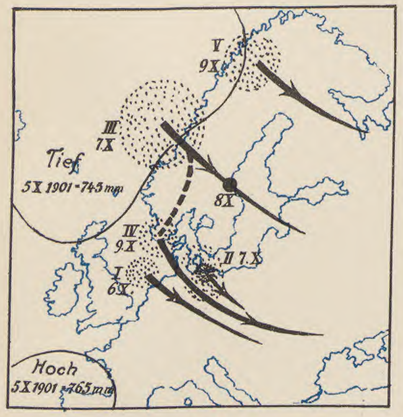
# *Wanderkarten über den Rotkehlchendurchzug Herbst 1899—1901.*






*Ernst Hübner: Wetterlagen und Vogelzug. Taf. 1.*

Fig. 2

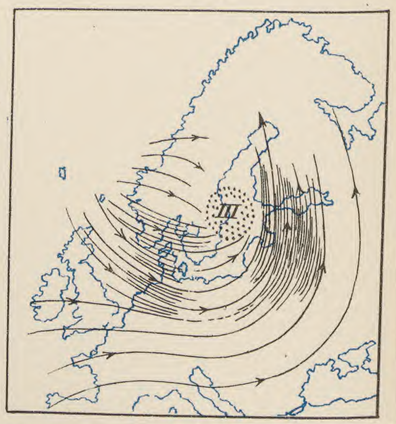



*Depressionskarte zu den Wirbelstürmen vom 5.—10. Oktober 1901. Bahnen der südöstlich fortschreitenden barometrischen Minima, welche die Ostsee durchqueren.*

Fig. 3

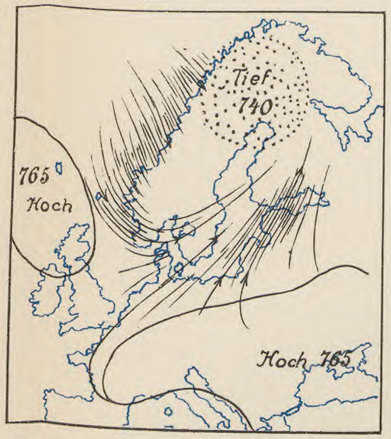
*Windkarte vom 7. Oktober 1901, morgens. Die Sturmbahnen laufen in Südschweden zusammen und nach Finnland. In Stralsund Nordweststurm und keine Rotkehlchen.*

Fig. 4




*Windkarte vom 8. Oktober 1901, morgens. Sturm an der Nordsee-Küste und beim Riga-Busen. In Stralsund abflauende Westwinde und wandernde Rotkehlchen in mäßiger Kopfzahl.*

Fig. 5

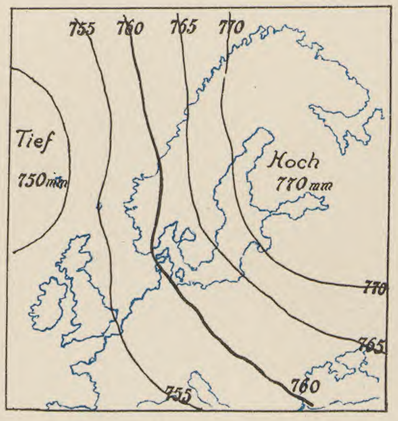



*Windkarte vom 29. Oktober 1901, morgens 8 Uhr.*

Fig. 6

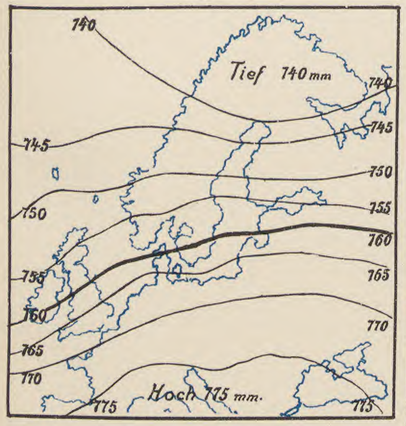
*Depressionskarte zu den Wirbelstürmen vom 12.—16. November 1901.*

Fig. 7



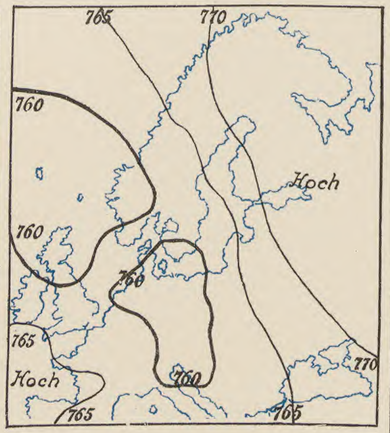

*Verteilung des Luftdruckes am 16. Oktober 1901, morgens.*

Fig. 8



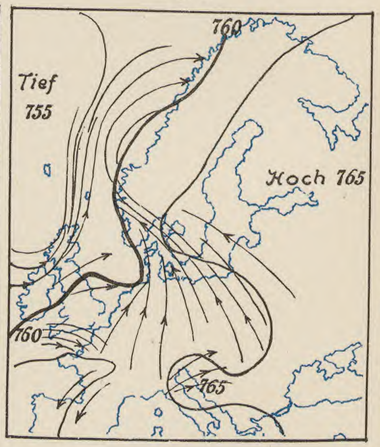

*Verteilung des Luftdruckes am 28. Oktober 1901, morgens.*

Fig. 9



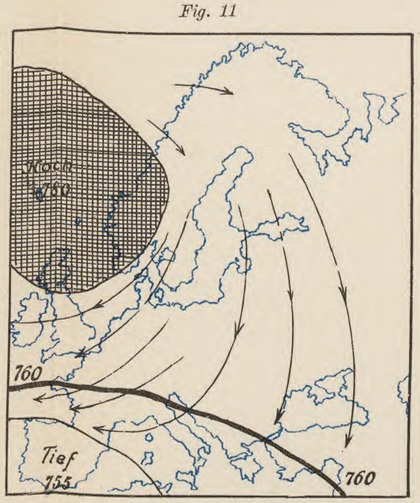

*Verteilung des Luftdruckes am 23. Oktober 1901, morgens.*

Fig. 10



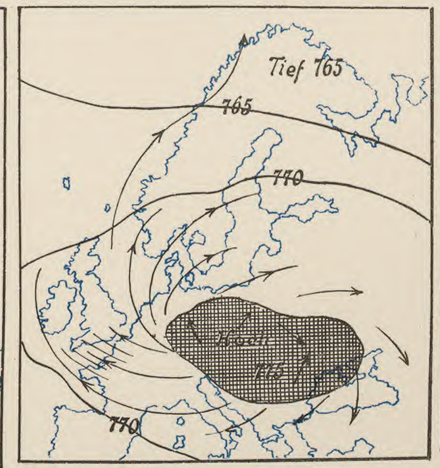

*Verteilung des Luftdruckes und der Winde am 3. Oktober 1901, morgens.*

Fig. 11




*Verteilung des Luftdruckes und der Winde am 31. Oktober 1901, 8 Uhr morgens. Hochdruckgebiet Nordwest-Europa. Rotkehlchen andauernd vorhanden.*

Fig. 12



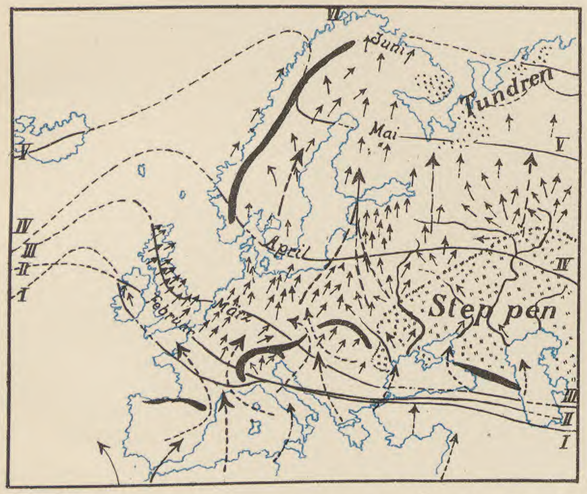

*Verteilung des Luftdruckes am 5. November 1901, morgens. Antizyklone mit umgehenden Winden und strahlender Luftbewegung. Rotkehlchen erscheinen vorübergehend und unruhig.*

Fig. 14

*Lage und Bahn der Depression I, Windkarte vom 13. November 1901, 8 Uhr morgens. Rotkehlchen rasten nicht.*

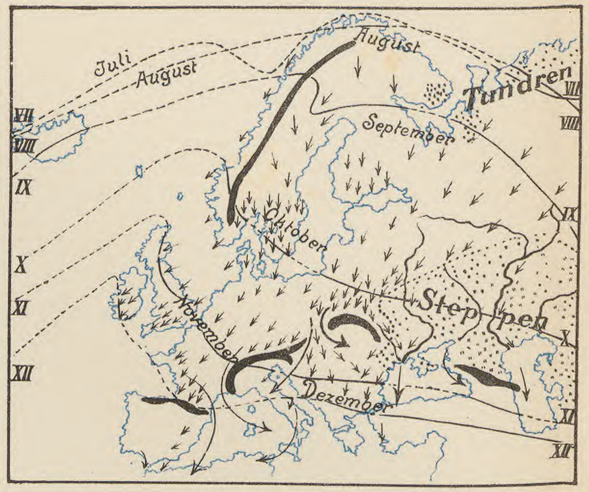
*Ernst Hübner: Wetterlagen und Vogelzug. Taf. 2.*

*Fig. 15*



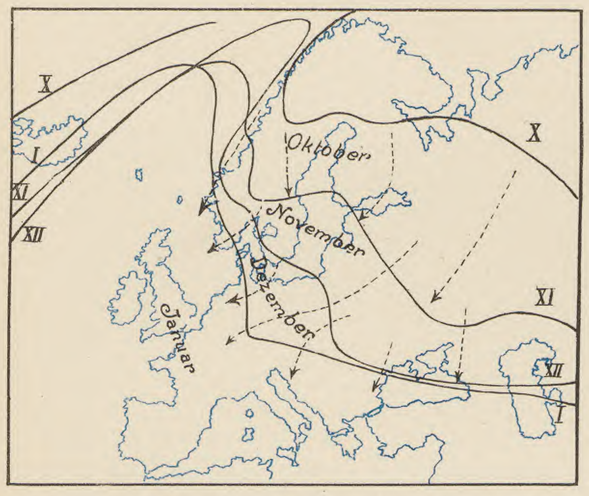

*Frühlings-Wanderung des Rotkehlchens über Europa. Vorrücken der 5° Frühlings-Isotherme und des Rotkehlchen-Durchzuges in breiter Front. Hemmungen und Ableitungen des Zuges und Anhäufung stärkerer Wanderscharen in mitteleuropäischen Küstenländern und Flußtälern.*

*Fig. 16*



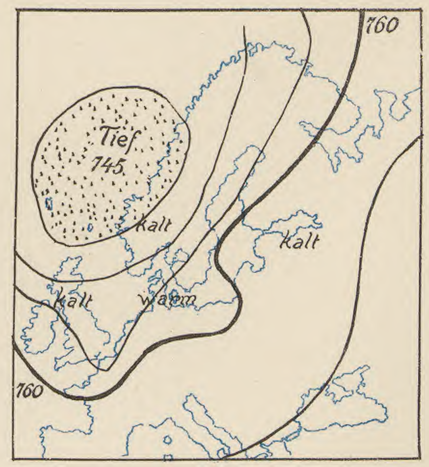

*Herbst-Wanderung des Rotkehlchens über Europa. Rückgang der 7,5° Herbst-Isotherme, Verlauf des Rotkehlchen-Durchzuges in breiter Front. Hemmungen und Ableitungen des Zuges und Anhäufung stärkerer Wanderscharen in mitteleuropäischen Küstenländern und Flußtälern.*

*Fig. 17*



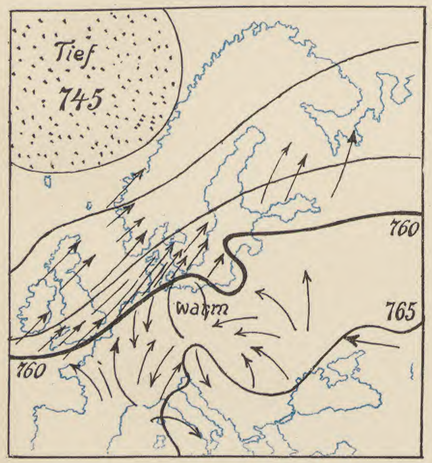

*Rückgang der 0° Winter-Isotherme von Oktober bis Januar. Polargrenzen und Zugrichtung der letzten Herbst-Nachzügler.*

*Fig. 18*



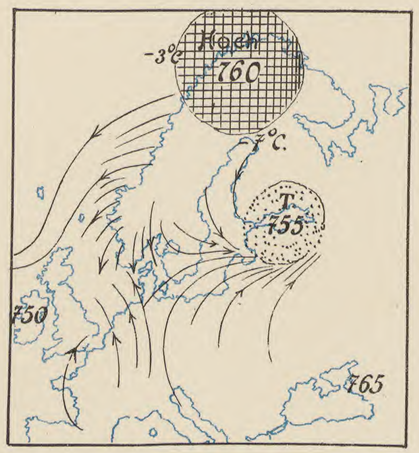

*Verteilung des Luftdruckes am 30. September 1900 abends. Das große Tiefdruckgebiet an der norwegischen Küste erzeugt einen mäßigen Luftwirbel und Abkühlung in England, Norwegen, Nordschweden und Rußland.*

*Fig. 19*



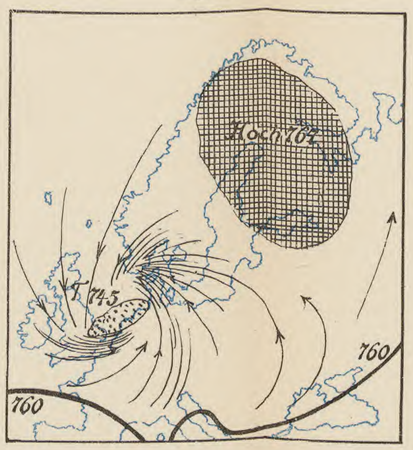

*Verteilung des Luftdruckes am 2. Oktober 1900 morgens. Dem unregelmäßigen Verlauf der 760 und 765 Isobaren entsprechend, entstehen eigentümliche, wirbelnde und sich gegenseitig durchflechtende Luftströmungen.*

*Fig. 20*



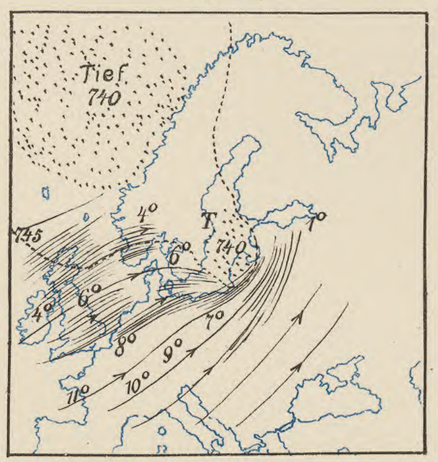

*Windkarte vom 8. Oktober 1903 morgens. Wind in Stralsund rechtsdrehend SW—N—NO. Am 9. Oktober in Neuvorpommern und Rügen viele Rotkehlchen.*

*Fig. 21*



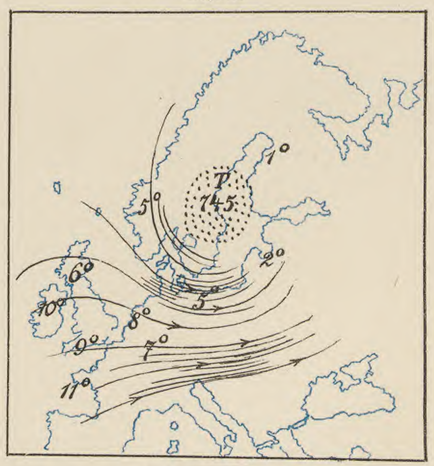

*Wetterkarte vom 9. Oktober 1903, morgens. Hochdruckgebiet in Nordost-Europa, viele Rotkehlchen trotz Wirbelsturm auf der südlichen Nordsee.*

*Fig. 22*




*Depressions- und Windkarte vom 7. April 1904 morgens. Erwärmung des südwestlichen Ostsee-Gebietes.*

*Fig. 23*




*Depressions- und Windkarte vom 8. April 1904. Erwärmung des südwestlichen Ostsee-Gebietes.*

Fig. 24

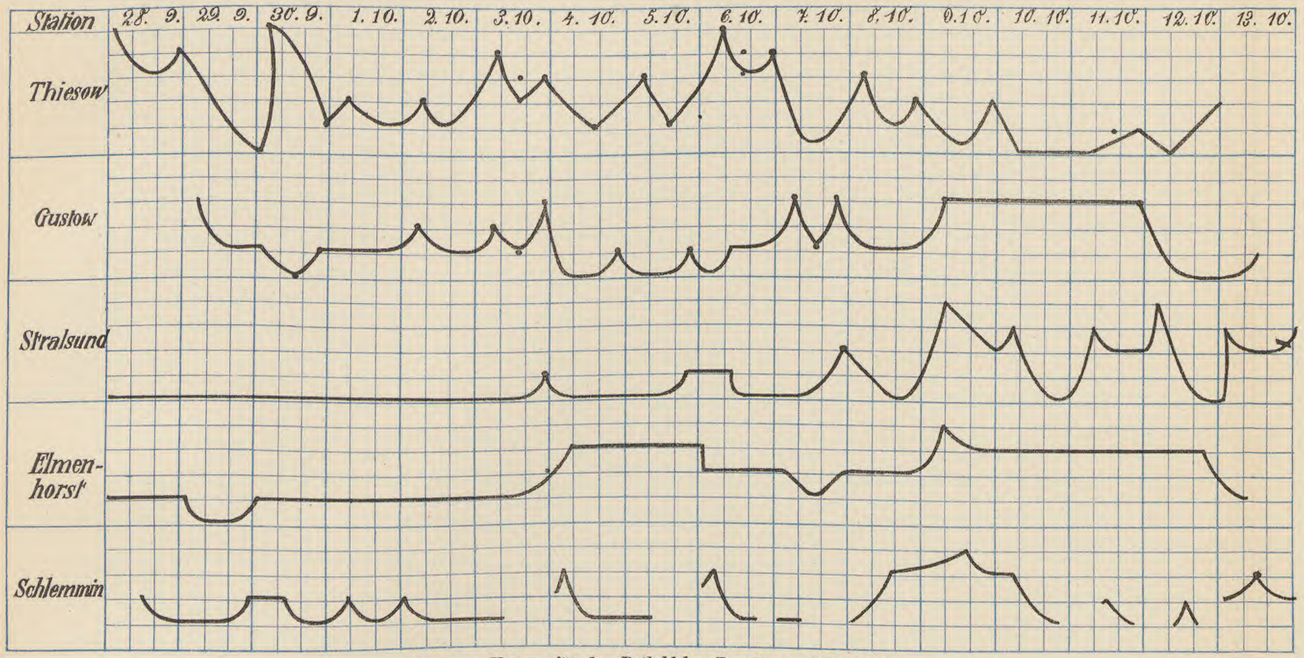
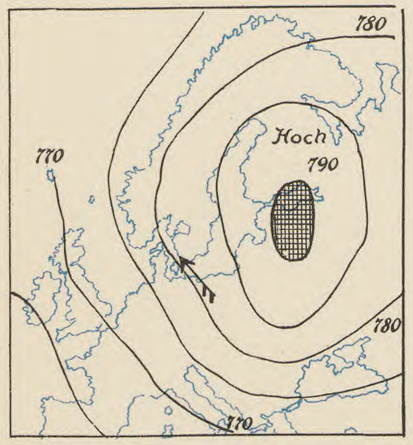


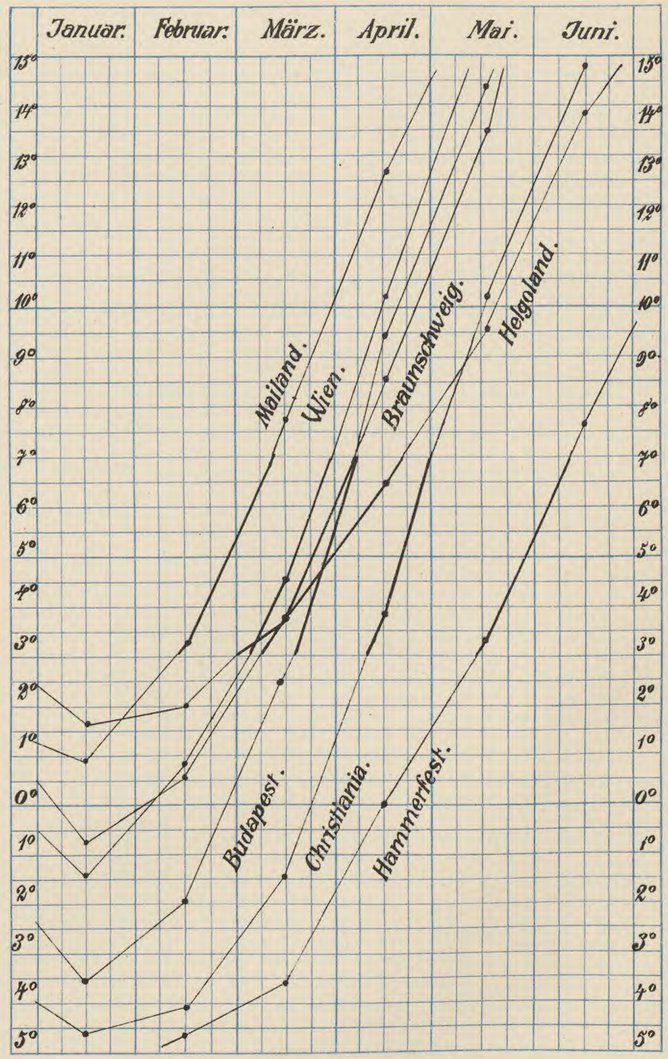

Fig. 26 *Frequenz-Kurven für den Rotkehlchen-Durchzug. Herbst 1902.*

Fig. 25



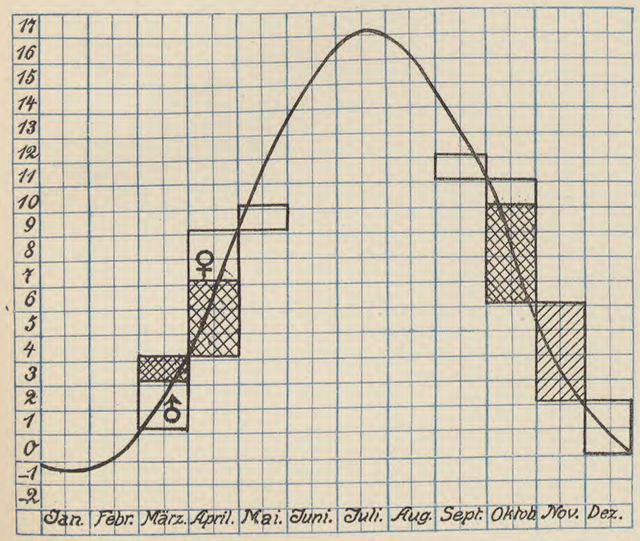

*Wetterkarte vom 12. November 1901. Rastende Rotkehlchen in Stralsund.*

Fig. 29



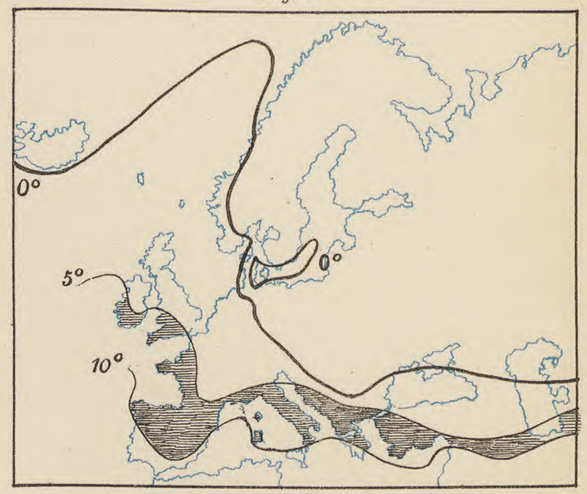

*Jahres-Temperaturkurven Januar-Juni. Frühjahrsdurchzug der Rotkehlchen.*

Fig. 26



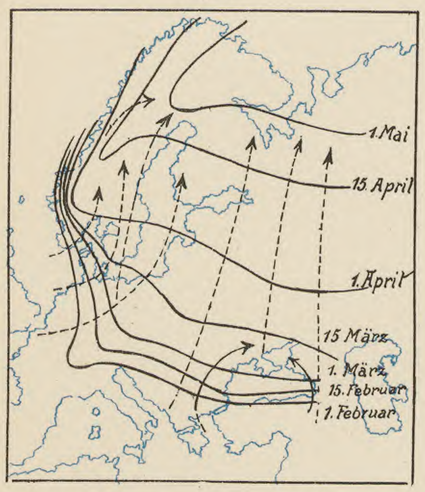

*Jahres-Temperaturkurve für Stralsund. Diagramm des Frühjahrs- und Herbstdurchzuges der Rotkehlchen.*

Fig. 27




*Januar-Isothermen-Gürtel 5—10° C. Winterherberge der Rotkehlchen in Europa und Asien. 0° Isotherme, nördliche Grenze der letzten Nachzügler.*

Fig. 28




*Vorrücken der 0° Isotherme vom 1. Februar bis 1. Mai. Polargrenzen und Zugrichtung der ersten Frühjahrs-Wanderer.*

3 2044 106 272 651

Folgende von der Akademie herausgegebene Bände der NOVA ACTA sind durch die Buchhandlung von Wilh. Engelmann in Leipzig zu beziehen:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Band | LXXXIII | | | | Halle | 1905. 4°. |
| „ | LXXXII | | | | „ | 1904. „ |
| „ | LXXXI | | | | „ | 1903. „ |
| „ | LXXX | | | | „ | 1903. „ |
| „ | LXXIX | | | | „ | 1901. „ |
| „ | LXXVIII | | | | „ | 1901. „ |
| „ | LXXVII | | | | „ | 1901. „ |
| „ | LXXVI | | | | „ | 1900. „ |
| „ | LXXV | | | | „ | 1899. „ |
| „ | LXXIV | | | | „ | 1899. „ |
| „ | LXXIII (noch nicht erschienen). | | | | | |
| „ | LXXII | | | | „ | 1899. „ |
| „ | LXXI | | | | „ | 1898. „ |
| „ | LXX | | | | „ | 1898. „ |
| „ | LXIX | | | | „ | 1898. „ |
| „ | LXVIII | | | | „ | 1897. „ |
| „ | LXVII | | | | „ | 1896. „ |
| „ | LXVI | | | | „ | 1896. „ |
| „ | LXV | | | | „ | 1896. „ |
| „ | LXIV | | | | „ | 1895. „ |
| „ | LXIII | | | | „ | 1895. „ |
| „ | LXII | | | | „ | 1894. „ |
| „ | LXI | | | | „ | 1894. „ |
| „ | LX | | | | „ | 1894. „ |
| „ | LIX | | | | „ | 1893. „ |
| „ | LVIII | | | | „ | 1893. „ |
| „ | LVII | | | | „ | 1892. „ |
| „ | LVI | | | | „ | 1891. „ |
| „ | LV | | | | „ | 1891. „ |
| „ | LIV | | | | „ | 1890. „ |
| „ | LIII | | | | „ | 1889. „ |
| „ | LII | | | | „ | 1888. „ |
| „ | LI | | | | „ | 1887. „ |
| „ | L | | | | „ | 1887. „ |
| „ | XLIX | | | | „ | 1887. „ |
| „ | XLVIII | | | | „ | 1886. „ |
| „ | XLVII | | | | „ | 1885. „ |
| „ | XLVI | | | | „ | 1884. „ |
| „ | XLV | | | | „ | 1884. „ |
| „ | XLIV | | | | „ | 1883. „ |
| „ | XLIII | | | | „ | 1882. „ |
| „ | XLII | | | | „ | 1881. „ |
| „ | XLI P. II | | | | „ | 1880. „ |
| „ | XLI P. I | | | | „ | 1879. „ |
| „ | XL | | | | „ | 1878. „ |
| „ | XXXIX | | | | Dresden | 1877. „ |
| „ | XXXVIII | | | | „ | 1876. „ |
| „ | XXXVII | | | | „ | 1875. „ |
| „ | XXXVI | | | | „ | 1873. „ |
| „ | XXXV | | | | „ | 1870. „ |
| „ | XXXIV | | | | „ | 1868. „ |
| „ | XXXIII | (= N. F. Bd. XXV) | | | „ | 1867. „ |
| „ | XXXII P. II | (= „ „ „ | XXIV | Abth. 2) | „ | 1867. „ |
| „ | XXXII P. I | (= „ „ „ | XXIV | Abth. 1) | „ | 1865. „ |
| „ | XXXI | (= „ „ „ | XXIII) | | „ | 1864. „ |
| „ | XXX | (= „ „ „ | XXII) | | „ | 1864. „ |
| „ | XXIX | (= „ „ „ | XXI) | | Jena | 1862. „ |
| „ | XXVIII | (= „ „ „ | XX) | | „ | 1861. „ |
| „ | XXVII | (= „ „ „ | XIX) | | „ | 1860. „ |
| „ | XXVI P. II | (= „ „ „ | XVIII | Abth. 2) | Breslau und Bonn | 1858. „ |
| „ | XXVI P. I | (= „ „ „ | XVIII | Abth. 1) | „ „ „ | 1857. „ |
| „ | XXV P. II | (= „ „ „ | XVII | Abth. 2) | „ „ „ | 1856. „ |
| „ | XXV P. I | (= „ „ „ | XVII | Abth. 1) | „ „ „ | 1855. „ |
| „ | XXIV Spl. | (= „ „ „ | XVI | Spl.) | „ „ „ | 1854. „ |
| „ | XXIV P. II | (= „ „ „ | XVI | Abth. 2) | „ „ „ | 1854. „ |
| „ | XXIV P. I | (= „ „ „ | XVI | Abth. 1) | „ „ „ | 1854. „ |
| „ | XXIII Spl. | (= „ „ „ | XV | Spl.) | „ „ „ | 1856. „ |
| „ | XXIII P. II | (= „ „ „ | XV | Abth. 2) | „ „ „ | 1852. „ |
| „ | XXIII P. I | (= „ „ „ | XV | Abth. 1) | „ „ „ | 1851. „ |
| „ | XXII Spl. | (= „ „ „ | XIV | Spl.) | „ „ „ | 1852. „ |
| „ | XXII P. II | (= „ „ „ | XIV | Abth. 2) | „ „ „ | 1850. „ |
| „ | XXII P. I | (= „ „ „ | XIV | Abth. 1) | „ „ „ | 1847. „ |